

RODOLFO JOSÉ ANGULO

RELAÇÕES ENTRE A ERODIBILIDADE E ALGUMAS PROPRIEDADES DE SOLOS BRASILEIROS

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSERVAÇÃO DO SOLO DO SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, COMO REQUISITO PARCIAL À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

CURITIBA  
1983




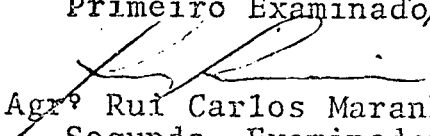
## P A R E C E R


Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Conservação de Solos para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado apresentada pelo candidato RODOLFO JOSÉ ANGULO, sob o título "RELAÇÕES ENTRE ERODIBILIDADE E ALGUMAS PROPRIEDADES DE SOLOS BRASILEIROS", para obtenção do grau de Mestre em Conservação de Solos - Curso de Pós-Graduação em Conservação de Solos do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, área de concentração MANEJO DO SOLO, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela APROVAÇÃO da Dissertação, completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de Mestre em Conservação de Solos.

Observação: O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma é apenas APROVADA ou NÃO APROVADA.

Curitiba, 24 de março de 1983.

  
Professor Dr. Mário Sérgio Vaz Cabeda  
Primeiro Examinador

  
Engº Agrº Rui Carlos Maranhão Biscaia  
Segundo Examinador

  
Professor Marcos Luiz de Paula Souza, DR.  
Presidente

## AGRADECIMENTOS

- Ao IPARDES Fundação Edison Vieira pela oportunidade e apoio a realização do Curso de Pós-graduação.
- Ao Setor de Ciências Agrárias Da Universidade Federal do Paraná
- Aos Professores Glaucio Roloff e Marcos Luiz de Paula Souza pela orientação segura na elaboração do trabalho.
- Aos Drs. Elemar Antonino Cassol, Elias Margolis, Francisco Lombardi Neto, João Carlos Henklain, José Eloir Denardin, Lio- vando Marciano da Costa e Rui C.M. Biscaia, pela colaboração, fornecimento de dados e amostras.
- Ao Dr. Ademir Clemente e Hudson Prestes dos Santos, pela orientação na realização das análises estatísticas.
- Ao pessoal do Setor de Meio Ambiente e Recursos Naturais, Coordenação de Editoração e Supervisão de Informações e Processamento do IPARDES pela colaboração.
- À Mary Kathleen Franco Mendonça, Nilce Correia, João Jorge de Andrade, Rosita Dietz, Lourival Rangel Castellar, Luiza de Fátima Pilati Mendes Lourenço e Miriam Ramos pela cola- boração.
- E a todos que de alguma forma incentivaram e ajudaram na rea- lização desse trabalho.

## BIOGRAFIA

RODOLFO JOSÉ ANGULO, Geólogo formado pela Universidad Nacional del Sur, Bahia Blanca, Argentina, em 1972.

Professor das Universidades Provincial de Mar del Plata (1973-74), Nacional del Sur (1974-75) e Nacional del Comahue (1977-78), Argentina.

Técnico do Centro de Investigaciones Científicas de la Provincia de Rio Negro - Argentina, em 1974-77.

Atualmente Técnico Senior do Setor de Meio Ambiente e Recursos Naturais do IPARDES - Fundação Edison Vieira e Professor Assistente do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE QUADROS .....	x
LISTA DE GRÁFICOS .....	xii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	xv
INTRODUÇÃO .....	1
1 REVISÃO DA LITERATURA .....	4
1.1 A EROSAO DO SOLO.....	4
1.1.1 Relação das Perdas do Solo por Erosão com as Características Físicas e Químicas do Solo. Índices de Erodibilidade e Equações de Pre- dição de Perdas do Solo .....	4
1.1.1.1 Restrições ao Uso dos Nomogramas de WIS- CHEMEIER et alii (1971) e ROTH et alii (1974)...	15
1.1.2 Erodibilidade dos Solos Utilizados no Trabalho ...	17
1.2 AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DOS AGREGADOS DO SOLO .....	25
1.2.1 Relação entre a Agregação e as Característi- cas Físicas e Químicas do Solo.....	25
1.2.2. Métodos para determinar a Estabilidade dos Agregados e sua Resistência ao Impacto da Gota .....	29
1.2.3 Diferentes Formas de Representar a Estabili- dade dos Agregados .....	37
2 MATERIAL E MÉTODO .....	44

2.1	SOLOS ESTUDADOS .....	44
2.2	ERODIBILIDADE DOS SOLOS ESTUDADOS, OBTIDA POR MÉTODOS DIRETOS .....	44
2.3	AMOSTRAGEM E PRÉ-TRATAMENTO .....	51
2.4	ANÁLISES FÍSICAS .....	51
2.4.1	Análise Granulométrica .....	51
2.4.2	Umidade Higroscópica .....	52
2.4.3	Distribuição dos Tamanhos dos Agregados Estáveis em Água .....	52
2.4.3.1	Justificativa da Metodologia Escolhida.....	52
2.4.3.2	Procedimento .....	54
2.4.3.3	Representação da Agregação e/ou Es- tabilidade dos Agregados do Solo .....	56
2.4.3.4	Coeficiente de Variação entre as Re- petições .....	57
2.4.4	Resistência dos Agregados ao Impacto da Gota .....	57
2.4.4.1	Justificativa da Metodologia .....	57
2.4.4.2	Procedimento .....	58
2.4.4.3	Representação .....	60
2.5	ANÁLISES QUÍMICAS .....	61
2.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	62
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	63
3.1	ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA .....	63
3.1.1	Considerações Sobre os Testes de Estabili- dade dos Agregados em Água .....	63
3.1.2	Correlação entre as Diferentes Formas de Representar a Estabilidade dos Agregados .....	65

3.1.3	Correlação entre a Estabilidade dos Agregados	
	Determinada com Imersão Direta e a Vácuo .....	72
3.2	RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA .....	76
3.2.1	Considerações sobre o Teste de Resistência	
	dos Agregados ao Impacto da Gota .....	76
3.2.2.	Correlação entre a Resistência dos Agregados	
	ao Impacto da Gota e a Estabilidade dos Agre-	
	gados em Água .....	78
3.3	CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS	
	E A ERODIBILIDADE .....	80
3.4	CORRELAÇÃO ENTRE A ERODIBILIDADE, A GRANULOMETRIA	
	E UMIDADE DE HIGROSCÓPICA .....	87
3.5	CORRELAÇÃO ENTRE A ERODIBILIDADE E AS CARACTERÍS-	
	TICAS QUÍMICAS .....	92
3.6	RESTRIÇÕES AO USO DO NOMOGRAMA DE WISCHMEIER ET	
	ALII (1971) .....	95
3.7	CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS, A	
	GRANULOMETRIA E A UMIDADE HIGROSCÓPICA .....	100
3.8	CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS E	
	AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO .....	103
3.8.1	Matéria Orgânica .....	106
3.8.2	Correlação entre o pH em Água, $\Delta$ pH e o Coe-	
	ficientes de Resistência dos Agregados ao Impacto da Gota...	110
	CONCLUSÕES .....	113
	RECOMENDAÇÕES .....	118
	RESUMO .....	119
	SUMMARY .....	121
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	123
	ANEXOS .....	130

## LISTA DE TABELAS

- 1 - VARIABILIDADE DO DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO (DMP), NA DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS
- 2 - ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA
- 3 - COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS DIFERENTES FORMAS DE REPRESENTAR A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS
- 4 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS DETERMINADA ATRAVÉS DE IMERSÃO DIRETA E A VÁCUO
- 5 - RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA
- 6 - GRANULOMETRIA E UMIDADE HIGROSCÓPICA
- 7 - CORRELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA, UMIDADE HIGROSCÓPICA E A ERODIBILIDADE
- 8 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO
- 9 - CORRELAÇÃO ENTRE A ERODIBILIDADE E AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO
- 10 - ERODIBILIDADE DO SOLO DETERMINADA PELO NOMOGRAMA DE WISCHMEIER ET ALII (1971)



## LISTA DE TABELAS EM ANEXO

- A.1 - VARIABILIDADE DO DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO (DMP) NOS TESTES DE ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA
- A.2 - ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA
- A.3 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES FORMAS DE REPRESENTAR A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS
- A.4 - RESISTENCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA
- A.5 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA
- A.6 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A ERODIBILIDADE E ESTABILIDADE DOS AGREGADOS, DETERMINADA POR VÁRIOS MÉTODOS
- A.7 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO
- A.8 - CORRELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA E UMIDADE HIGROSCÓPICA E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS
- A.9 - CORRELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS
- A.10- CORRELAÇÃO ENTRE O TEOR DE CARBONO E ESTABILIDADE DE DIFERENTES TAMANHOS DOS AGREGADOS

## LISTA DE QUADROS

- 1 - ÍNDICES PRELIMINARES DE ERODIBILIDADE DE ALGUNS SOLOS DO PARANÁ, DETERMINADOS ATRAVÉS DE CHUVA SIMULADA E NATURAL
- 2 - VALORES DE K, OBTIDOS COM CHUVA SIMULADA E NATURAL
- 3 - VALORES DO FATOR K DO LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DE PONTA GROSSA (LVe) E LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO, DE LONDRINA (PR)
- 4 - VALORES DE PERDAS DE SOLO-LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO DA UNIDADE DE MAPEAMENTO SANTO ANGELO DE IJUÍ-RS
- 5 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E VARIAÇÃO DE CINCO FORMAS DE EXPRESSAR A AGREGAÇÃO DO SOLO
- 6 - TIPO, PROCEDÊNCIA, TEXTURA E PERMEABILIDADE DOS SOLOS ESTUDADOS
- 7 - FATOR K DOS SOLOS ESTUDADOS UTILIZADOS NO TRABALHO

## LISTA DE QUADROS EM ANEXO

- A.1 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIMPLES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E A ERODIBILIDADE
- A.2 - FATOR K DE ERODIBILIDADE DO SOLO E OUTROS PARÂMETROS PARA TRÊS CHUVAS APLICADAS NO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO CÂMBICO DISTRÓFICO NA ZONA DA MATA (MG)
- A.3 - ÍNDICE DE ERODIBILIDADE DO SOLO "SÃO JERÔNIMO" (LATERÍTICO BRUNO AVERMELHADO DISTRÓFICO) DETERMINADO COM SIMULADOR DE CHUVAS
- A.4 - ERODIBILIDADE DO SOLO "SÃO JERÔNIMO" (LATERÍTICO BRUNO AVERMELHADO DISTRÓFICO) DETERMINADO COM SIMULADOR DE CHUVAS
- A.5 - ERODIBILIDADE DO LATOSSOLO VERMELHO ESCURO ÁLICO, DA UNIDADE DE MAPEAMENTO DE PASSO FUNDO, DETERMINADA COM SIMULADOR DE CHUVAS
- A.6 - DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO SOB CONDIÇÕES DE CHUVA NATURAL
- A.7 - DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO SOB CONDIÇÕES DE CHUVA SIMULADA

## LISTA DE GRÁFICOS

- 1 - CORRELAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES FORMAS DE REPRESENTAR A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,l,m)
- 2 - CORRELAÇÃO ENTRE AS DETERMINAÇÕES DE ESTABILIDADE DOS AGREGADOS ATRAVÉS DE IMERSÃO DIRETA E A VÁCUO (a,b,c, d, e,f)
- 3 - HISTOGRAMA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS ATRAVÉS DE IMERSÃO DIRETA E A VÁCUO (a,b,c,d,r,f,g,h,i,j)
- 4 - HISTOGRAMA DA RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j)
- 5 - CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE EM ÁGUA E A RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA (a,b,c,d,e,f)
- 6 - CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,l,m,n,o,p,q,r,s)
- 7 - CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E A RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA
- 8 - CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E AS CARACTERÍSTICAS TEXTURAIS DO SOLO (a,b,c,d,e)
- 9 - CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E O TEOR DE CARBONO
- 10 - CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS, A GRANULOMETRIA E A UMIDADE DE HIGROSCÓPICA (a,b,c,d,e,f,g,h,i, j,l,m)
- 11 - CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE SILTE E ARGILA
- 12 - CORRELAÇÃO ENTRE O TEOR DE CARBONO E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS (a,b)

- 13 - CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE CARBONO E ARGILA
- 14 - CORRELAÇÃO ENTRE o pH EM ÁGUA, o  $\Delta$ pH E O COEFICIENTE DE RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA (a,b)

#### LISTA DE GRÁFICOS EM ANEXO

- A.1- CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA (a,b,c,d,e,f,g,h,i,j).
- A.2- CURVAS GRANULOMÉTRICA DE FREQUÊNCIA ACUMULADA (a,b, c, d, e,f,g,h,i,j)

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS
- 2 - ESQUEMA DO APARELHO UTILIZADO PARA O TESTE DE RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA
- 3 - SUPORTE DE AGREGADO UTILIZADO NO TESTE DE RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA
- 4 - TEXTURA DE ALGUNS SOLOS BRASILEIROS
- 5 - NOMOGRAMA DE ERODIBILIDADE DO SOLO

## INTRODUÇÃO

O solo é de importância vital para o Brasil, dada a relevância que a agricultura possui na economia brasileira. Dessa forma, e como qualquer outro recurso natural, ele deve ser usado racionalmente, ou seja, através de um uso que permita maximizar a produção e mantê-la estável no tempo.

É neste contexto que as pesquisas do solo têm papel relevante nas estratégias de desenvolvimento a médio e longo prazo. Entretanto, deve-se salientar que os resultados das pesquisas tem pouco valor sem a transferência efetiva de tecnologia aos usuários. É o caso da predição de perdas do solo por erosão, que não deve ser um fim em si mas apenas orientação para se aplicar a tecnologia de controle da erosão e sedimentação em terras agrícolas e não-agrícolas (WISCHMEIER, 1977)<sup>8,1</sup>

A intervenção antrópica nos ecossistemas\* naturais produz desequilíbrios muitas vezes de grande magnitude e que são danosos para a biota do ecossistema e para o próprio homem. Mas os seus efeitos, embora rápidos, na maioria dos casos demoram alguns anos para serem evidenciados, podendo também ocorrer um mascaramento devido a um aumento constante na entrada de matê-

\*O ecossistema é um sistema aberto, integrado por todos os organismos vivos e elementos não-viventes de um setor ambiental definido no espaço e no tempo, e cujas propriedades globais de funcionamento e auto-regulação derivam das interrelações entre os seus componentes. DI CASTRI, Francisco. La revolución ecológica y América Latina. Valdivia, Instituto de Ecología da Universidade de Austral, 1970.

ria e energia no ecossistema.

Os processos de degradação do ecossistema têm como consequência duas situações básicas. Uma em que o ecossistema vai perdendo produtividade e tendo uma utilização cada vez menor, podendo culminar no seu abandono, e a segunda quando se procura manter a produtividade via insumos crescentes de energia, matéria e informação. Nesse último caso o ecossistema terá sua produtividade comprometida pelos custos desses insumos.

A intervenção humana num ecossistema natural provoca desequilíbrios, cuja intensidade dependerá da estabilidade do ecossistema e da magnitude dessa intervenção. Assim, uma ocupação racional deveria comportar a utilização de uma tecnologia que garantisse a máxima produção compatível com um mínimo de degradação ambiental o que possibilitaria manter a produtividade com pequenos ingressos de matéria e energia.

Dessa forma, a conservação do solo se constitui num importante aspecto a ser considerado nos planos de desenvolvimento econômico e social de uma região.

Para que as tentativas de conservação do solo alcancem sucesso, é necessário conhecer os mecanismos de erosão do solo, para posteriormente elaborar, considerando um amplo espectro de variáveis, as possíveis soluções.

Numerosos elementos influem na erosão do solo. Num ecossistema natural existem dois conjuntos de processos que podem ser considerado antagônicos: os pedogenéticos ou formadores do solo e os morfogenéticos ou modeladores da paisagem, que são destruidores do solo (TRICART, 1977)<sup>71</sup>. Os fatores de regulação desses processos podem ser agrupados em cinco subsistemas: climático, biótico, edáfico, geomórfico e geológico. Ao se con-



siderar um ecossistema natural suscetível de ser transformado em um agroecossistema,\* encontra-se que os fatores mais importantes no processo erosivo do solo são a energia cinética e intensidade das chuvas, tipo e quantidade de cobertura vegetal, declive, forma e comprimento da pendente e as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A transformação do ecossistema natural num agroecossistema implica na modificação de vários desses fatores de regulação e, conseqüentemente, dos processos e fluxos que nele ocorrem. O fator que muda radicalmente é a cobertura vegetal natural que é substituída pelas culturas. Outros fatores, como o solo, mudam mais lentamente, mas os resultados, após alguns anos de uso, podem ser igualmente significativos resultando, via de regra, numa degradação desse subsistema.

Dentre os fatores mais importantes dos quais depende a erosão do solo estão as suas propriedades físicas, químicas e biológicas, configurando a erodibilidade e cuja determinação, paralelamente a outros fatores, é importante na elaboração dos planos conservacionistas.

Este trabalho tem como um dos seus objetivos contribuir para melhor compreensão de fatores que afetam a erodibilidade dos solos brasileiros e possibilitar, de forma rápida e simples a determinação desse importante fator da erosão do solo.

\*O agroecossistema se conforma a partir da introdução da agricultura no ecossistema, passando, assim, o homem e sua atividade a serem considerados como um subsistema a mais. (Fundação IPARDES). Meio ambiente e recursos naturais da Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 1980.

## 1 REVISÃO DA LITERATURA

Para uma melhor exposição, a revisão da literatura foi dividida em dois itens. O primeiro se refere às perdas do solo por erosão e, outro, à agregação e estabilidade dos agregados do solo.

No primeiro item são apresentados os trabalhos sobre as relações existentes entre as perdas de solo por erosão, com suas propriedades físicas e químicas e os que se referem aos diversos índices de erodibilidade, equações de predição de perdas do solo e uso dos nomogramas para cálculo do fator K. Num subitem, foram agrupados os estudos que incluem determinações do fator K, por métodos diretos, dos solos utilizados.

No segundo são analisados os trabalhos sobre a agregação do solo, considerando os aspectos da correlação entre essa e outras propriedades físicas e químicas dos solos, além dos aspectos sobre a metodologia de determinação da estabilidade dos agregados e resistência ao impacto da gota e diferentes formas de representar a estabilidade de agregados e sua correlação entre si.

### 1.1 A EROÇÃO DO SOLO

#### 1.1.1 Relação das Perdas do Solo por Erosão com as Características Físicas e Químicas do Solo. Índices de Erodibilidade e Equações de Predição de Perdas do Solo

Ao efetuar extensa revisão bibliográfica sobre o assunto, BRYAN (1968)<sup>18</sup> citou BENETT (1926) como o primeiro a reconhecer formalmente a variabilidade das características de resistência à erosão dos solos, as quais MIDDLETON (1930), posteriormente chamou "erosividade do solo" e COOK (1936) de "erodibilidade do solo". BENETT (1926) também determinou importantes propriedades de solos lateríticos de Cuba que influenciavam na erodibilidade, tais como: textura, estrutura, matéria orgânica e composição química, especialmente a relação  $SiO_2/R_2O_3$ . BRYAN (1968)<sup>18</sup> também cita MIDDLETON (1930) como o primeiro a propor um índice de erodibilidade. Baseado em análises de solos, cujas reações aos processos erosivos fossem conhecidas a partir de observações de campo, MIDDLETON comparou solos "suscetíveis" e "não-suscetíveis à erosão" de diferentes regiões e de uma mesma região. O autor encontrou uma significativa relação entre a erodibilidade e o teor de silte mais argila não dispersos, dividido pelo teor quando a amostra era dispersa e denominou essa relação de "índice de dispersão". Também encontrou que solos "suscetíveis" e "não-suscetíveis à erosão" apresentavam diferenças significativas no teor de colóides e na umidade equivalente, propondo o "índice de erosão" que é a relação entre o "índice de dispersão", o conteúdo de colóides e a umidade equivalente.

LUTZ (1934), citado por ELSON e LUTZ (1940),<sup>26</sup> observou que os horizontes A e B dos solos pouco suscetíveis à erosão possuíam um alto grau de agregação, com agregados grandes, estáveis e porosos, enquanto que os solos suscetíveis possuíam poucos ou nenhum agregado e esses eram pequenos e compactos.

YODER (1936)<sup>87</sup> salienta que a agregação do solo é uma

das mais importantes propriedades dinâmicas do solo a ser considerada quando se investiga o comportamento do solo em relação ao controle de erosão e outros aspectos da física do solo. Acrescenta que a tendência dos solos de se quebrar a partir de torrões em pequenos agregados sob a influência de mudanças na umidade é uma das mais importantes propriedades dinâmicas dos solos em relação ao controle de erosão e aos tratos culturais. Para um solo argiloso fortemente agregado, ele verificou que as perdas por erosão ocorrem principalmente na forma de agregados estáveis em água.

PEELE<sup>56</sup> (1937) salienta que a diminuição dos agregados do solo produz um incremento no escoamento superficial e consequentemente na suscetibilidade à erosão.

PEELE (1937 b)<sup>57</sup> sugeriu que algumas características físicas do solo como taxa de infiltração, percentagem da suspensão e relação de dispersão podem servir como índices de erodibilidade dos solos.

ELSON e LUTZ (1940)<sup>26</sup> estudaram os efeitos da agregação na erosão do solo e escoamento superficial em um solo laterítico e concluíram que uma boa agregação é benéfica, reduzindo o escoamento superficial e a erosão.

WILSON e BROWNING (1946)<sup>80</sup> pesquisando a relação entre a agregação e as perdas do solo e escoamento superficial, encontraram uma correlação inversa entre agregados > 0,25 mm e perdas de solo e escoamento superficial, para uma média de quatro anos. Na maioria dos casos estudados descobriram também uma correlação inversa entre essas últimas e os agregados > 2 mm e > 1 mm.

VOZNESENKY e ARTSRUUI (1940)<sup>77</sup> desenvolveram uma fôr-

mula comparando o estado de agregação e dispersão e a capacidade de retenção de água, apresentado na seguinte equação:

$$(1) \quad E = d \cdot h/a \quad \text{onde}$$

$E$  é a erodibilidade,  $d$  o índice de dispersão,  $h$  o índice de capacidade de retenção de água e  $a$  o índice de agregação.

BAVER (1956)<sup>4</sup> propôs uma equação para determinar as perdas de solo por erosão:

$$(2) \quad E = K \frac{D}{APp} \quad \text{onde}$$

$K$  é uma constante de proporcionalidade;

$D$  é a facilidade de dispersão;

$A$  a capacidade de infiltração da superfície do solo;

$P$  a permeabilidade do perfil do solo e  $p$  a textura do solo.

WALLIS e STEVAN (1961)<sup>7,8</sup> estudaram a relação entre erodibilidade de alguns solos da Califórnia, Estados Unidos e a capacidade de troca de cátions metálicos. A erodibilidade foi caracterizada a partir do índice de dispersão de MIDDLETON (1930) e "relação agregação-superfície" de ANDERSON (1954) que relaciona a superfície total das partículas maiores de 0,05 mm e a quantidade de silte mais argila agregada. Foi encontrada a seguinte equação:

$$(3) \quad \text{Índice de erosão} = a + b (Ca^{++} + Mg^{++}) + c(Ca^{++} + Mg^{++})^2$$

Com o  $Ca^{++} + Mg^{++}$  expresso em miliequivalentes.

WISCHMEIER e SMITH (1965)<sup>8,3</sup> apresentaram uma equação desenvolvida a partir de dados de escoamento superficial e perdas do solo obtidos nos EUA desde 1930. Introduzindo um índice de erosividade melhorado (WISCHMEIER, 1959), um método para

avaliar o efeito das práticas culturais com base nas condições climáticas locais (WISCHMEIER, 1960), um fator de erodibilidade quantitativo e um método para contabilizar os efeitos das inter-relações entre as variáveis (WISCHMEIER e SMITH, 1965).<sup>8 3</sup>

Esse desenvolvimento liberou a equação de algumas generalizações e restrições geográficas e climáticas, inerentes aos velhos modelos. Essa equação melhorada, por ser de aplicabilidade generalizada, foi denominada "Equação Universal de Perdas do Solo".

A equação é apresentada como:

$$(4) \quad A = RKLSCP \quad \text{onde}$$

A = Perdas de Solo medida por unidade de área;

R = Fator Chuva. É o número de unidades do Índice de erosividade em um ano de chuvas normais; e o Índice de erosividade é a medida da força erosiva de um evento de chuva;

K = Fator Erodibilidade do Solo. É a proporção de erosão por unidade do Índice de erosividade da chuva, para um solo específico, preparado convencionalmente no sentido do declive, mantido continuamente descoberto, com 9% de declive e 22 m de comprimento;

L = Fator Comprimento da Pendente. É a relação entre as perdas de solo de um determinado comprimento de rampa em condições de campo, com as perdas ocorridas em 22 m de comprimento, mantidas idênticas as demais condições;

S = Fator Declive. É a relação entre as perdas de solo de um determinado declive em condições de campo, com as perdas ocorridas em 9% de declive, mantidas idên-

ticas as demais condições;

C = Fator Manejo. É a relação entre as perdas de solo em condições específicas de campo para um determinado manejo, com as perdas ocorridas nas mesmas condições em que o Fator K é determinado;

P = Fator Práticas Conservacionistas. É a relação entre as perdas de solo ocorrida quando se utiliza qualquer prática conservacionista, com as perdas que ocorrem no preparo do solo no sentido do declive, mantidas idênticas as demais condições.

Os mesmos autores esclarecem que sob as mesmas condições de declividade, chuva, cobertura e manejo, alguns solos em relação a outros, são, devido as suas propriedades, mais suscetíveis à erosão. Esta diferença é o que se chama de erodibilidade do solo. E as características que influenciam a erodibilidade do solo pela água são:

- a) as que afetam a infiltração, permeabilidade e capacidade de retenção de água;
- b) as que resistem às forças de dispersão, desagregação, abrasão e transporte do escoamento superficial e da chuva.

BARNETT et alii (1966)<sup>3</sup> realizaram análises de regressão múltipla para estudar a relação da erodibilidade, determinada sob condições de chuva simulada, com a declividade e as características do solo.

Os autores encontraram que a declividade era a variável mais importante. As outras propriedades que influenciaram na erodibilidade e que, combinadas, explicaram mais de 90% da variabilidade da erosão foram: profundidade da camada arada, a

umidade nos primeiros 20 cm de solo, a capacidade de campo, o logarítmo da areia muito fina, argila/silte mais areia, areia fina e média, agregados de 2 a 4,76 mm de diâmetro, água disponível no solo, densidade do solo e percentagem de carbono.

BRYAN (1968)<sup>18</sup> analisou o desenvolvimento, utilidade e eficiência dos índices de erodibilidade, comparando-os com as perdas de erosão dos solos obtidas em laboratório com simulador de chuva. Os resultados indicaram que os índices mais eficientes foram percentagem de agregados estáveis em água > 3 mm, percentagem de agregados estáveis em água > 5 mm, "Índice de erosão" (MIDDLETON, 1930), "Índice agregação - superfície" (ANDERSON, 1954) e "Índice de argila" (BOUYOUCOS, 1935).

Segundo o autor, todos os índices elaborados podem ser agrupados em dois tipos: aqueles baseados nas propriedades que afetam a dispersão do solo e os que incluem as propriedades que afetam a agregação e a transmissão de água no solo. Considera que, teoricamente, o "Índice de erosão" proposto por MIDDLETON (1930) tem a vantagem de possuir os dois principais grupos de propriedades que determinam a erodibilidade. Acrescenta que o conhecimento da distribuição do tamanho de agregados é muito importante, pois os agregados abaixo de determinado diâmetro podem ser erodidos sem prévia dispersão. Assim, a percentagem desses agregados seria um índice de erodibilidade. O autor conclui que:

- a) nenhum dos índices analisados possui os requisitos de determinação simples, aplicação confiável e universal para serem considerados como índices;
- b) que os índices de erodibilidade devem incluir a estabilidade de agregados e sua distribuição;



c) que o método proposto por McCALLA (1944) e modificado por SMITH e CERNUDA (1951) e PEREIRA (1956), de determinação de estabilidade de agregados ao impacto da gota, pode fornecer um índice de erodibilidade mais eficiente que aqueles derivados das determinações de estabilidade por tamização a úmido.

LYLE e SMERDON (1965)<sup>49</sup> também estudaram a relação da resistência à erosão e outras propriedades do solo. A primeira foi determinada em um flume, submetendo o solo a uma corrente de água. Os autores encontraram correlações significativas entre a resistência à erosão assim determinada e o índice de plasticidade, relação de dispersão, resistência ao corte e percentagem de matéria orgânica.

WISCHMEIER e MANNERING (1969)<sup>82</sup> salientam que a erodibilidade do solo é uma propriedade complexa que depende tanto da capacidade de infiltração do solo quanto de sua capacidade de resistir à dispersão e transporte provocado pela chuva e o escoamento superficial. Os autores pesquisaram as relações dessas capacidades com as propriedades físicas e químicas do solo, utilizando 55 solos da região do Corn Belt, Estados Unidos. As propriedades que contribuíram significativamente nas variações das perdas por erosão desses solos foram percentagens de areia, silte, argila e matéria orgânica, pH, estrutura, densidade do solo da camada arável e do subsolo, declividade e concavidade ou convexidade da pendente, macroporos, efeitos residuais dos restos de culturas, agregação, material de origem e várias interações dessas variáveis. Foi derivada uma equação empírica para calcular o fator K da equação universal de perda de solo. Testes da equação com solos nos quais o fator K já

era conhecido indicaram que a equação é aplicável para um extenso grupo de solos de textura média.

Os autores esclarecem também que alguns fatores sobre os quais a equação está baseada não são válidos quando a porcentagem de areia excede 65% ou a fração argila excede 35%. A análise da relação da erodibilidade com a textura do solo mostra que geralmente os solos se tornam menos suscetíveis à erosão quando decresce o teor de silte, no entanto, as porcentagens de silte, areia e argila devem ser considerados em relação à existência de níveis de outros parâmetros físicos e químicos.

Ainda sobre essa relação, os autores sugerem que a areia muito fina (0,05 a 0,10 mm) parece se comportar mais como silte que como outras partículas de areia.

Quanto à relação da erodibilidade com o pH, a equação indica que esta depende da estrutura. Assim, para solos com alto teor de silte a erodibilidade aumenta com o pH quando a estrutura é granular fina e muito fina. Se a estrutura é granular média ou grossa, subangular ou angular, a erodibilidade decresce com o aumento do pH.

A relação da erodibilidade com a matéria orgânica mostrou que o conteúdo dessa última é um indicador da erodibilidade semelhante à textura. Contudo essa relação não foi confiável em todos os solos estudados.

Nos solos siltosos, franco siltosos, francos e franco arenosos, a relação inversa entre a erodibilidade, o índice de agregação e o teor de matéria orgânica foi muito forte, mas a significância declina quando a fração argila se torna maior e resulta insignificante nos solos argilosos.

Para um solo com alto conteúdo de argila, com 4% de matéria orgânica, por exemplo, a relação inversa da erodibilidade com o índice de agregação parece se manter até que a fração arenosa exceda 35%, para 2% de matéria orgânica esse nível crítico cai para 10%. Quando o conteúdo de argila é alto e o de areia mais baixo que essas porcentagens, a relação se inverte. Isso sugere que os agregados que possuem grande quantidade de partículas de argila são mais suscetíveis à erosão, na forma de agregados.

Nos 55 solos estudados pelos autores, a relação inversa geral da erodibilidade e agregados estáveis explicou só 6% do total da variação da erodibilidade dos solos.

Também foram observadas relações inversas entre as perdas do solo de chuvas de 1 hora e o conteúdo de fósforo da camada arável, e uma entre as perdas de solo e o conteúdo de potássio, mas não significativas a nível de 5%.

WISCHMEIER et alii (1971)<sup>8 5</sup> elaboraram um nomograma que permite avaliar a erodibilidade dos solos com base em cinco parâmetros. Para a confecção do nomograma foram utilizados, com quatro exceções, os mesmos solos descritos por WISCHMEIER e MANNERING (1969). Os parâmetros utilizados foram percentagens de silte mais areia muito fina, percentagem de areia de 0,1 a 2,0 mm, percentagem de matéria orgânica, estrutura do solo e permeabilidade.

Os autores mencionam que, em geral, a erodibilidade tende a aumentar com o incremento do conteúdo de silte mais areia muito fina e a diminuir com o aumento dos conteúdos de areia > 0,1 mm, argila e matéria orgânica. Também encontraram que a erodibilidade tende a diminuir com o aumento da matéria orgâ-

nica e que esse efeito está relacionado à textura do solo.

No que diz respeito à estrutura, concluíram que o grau não afeta significativamente a erodibilidade, talvez porque dependa do conteúdo de umidade e da apreciação subjetiva. O tipo e classe da estrutura, do mesmo modo que o pH, influenciam a erodibilidade, mas essas influências não foram avaliadas quantitativamente pelos autores.

HARIDASAN e CHIBBER (1971)<sup>41</sup> estudaram os efeitos das propriedades físicas e químicas do solo sobre a erodibilidade, de alguns solos da Índia. Para caracterizar a erodibilidade utilizaram o "Índice de erosão" definido por MIDDLETON (1930). Esse "Índice de erosão" apresentou correlações inversas entre a relação de argila/silte mais areia (-0,585\*), percentagem de cálcio trocável (-0,574\*\*), e relação  $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$  (-0,658\*\*). Obtiveram também correlações diretas altamente significativas entre a relação de erosão e a expansão de volume (0,531\*\*), e umidade equivalente (0,788\*\*).

BARNETT et alii (1971)<sup>2</sup> estudaram a erodibilidade de três solos típicos de Porto Rico. O fator K foi determinado utilizando simulador de chuva. Eles concluíram que o efeito erosivo do impacto da gota de chuvas normais é pequeno devido ao alto grau de estabilidade dos agregados, mas as tormentas podem causar perdas de solo muito severas.

EL-SWAIFY e DANGLER (1977)<sup>27</sup> pesquisaram as relações entre a erodibilidade e os parâmetros hidrológicos e estruturais de alguns solos do Hawai. Eles mediram as perdas de solo através da aplicação de duas chuvas simuladas sucessivas. O coeficiente mais alto encontrado foi para a correlação entre a erodibilidade e os agregados instáveis (quadro A.1).

RÖMKENS et alii (1977)<sup>66</sup> estudaram a relação do fator erodibilidade de vários subsolos argilosos com as suas propriedades físicas e químicas. Concluíram que o parâmetro textural M, criado por WISCHMEIER et alii (1971)<sup>85</sup> e as percentagens de ferro e alumínio extraídos com citrato-ditionito-bicarbonato (CDB), foram propriedades significantes para predizer a erodibilidade desses subsolos ao nível de 5%.

FALAYI e LAL (1979)<sup>35</sup> estudando a relação entre o tamanho dos agregados e a erodibilidade em solos da Nigéria, determinaram que os agregados de 10 a 50 mm são os mais favoráveis para o controle da erosão e que os diâmetros desfavoráveis são os < 2 mm.

KANDIAH (1979)<sup>43</sup> estudando solos de Sri Lanka, concluiu que para predizer a erodibilidade dos solos minerais é importante ter informações sobre capacidade de troca de cátions e composição de fluido dos poros.

CASSOL et alii (1980)<sup>21</sup> salientam que a erodibilidade depende principalmente das características do solo como estabilidade de agregados, capacidade de infiltração de água, textura, densidade do solo, tamanho, forma e densidade das partículas, entre outras. Acrescenta também que as características químicas e mineralógicas do solo podem ser fatores importantes na determinação da erodibilidade do solo.

#### 1.1.1.1 Restrições ao Uso dos Nomogramas de WISCHMEIER et alii (1971) e ROTH et alii (1974)

WISCHMEIER (1977)<sup>81</sup> alerta que embora a utilidade de equação universal de perda de solo não se restrinja a área para a qual foi desenvolvida, sua utilização em regiões fisio-

gráficas onde seus fatores não tem sido avaliados por pesquisas locais requer precauções especiais para evitar possíveis usos e interpretações errôneas.

EL-SWAIFY e DANGLER (1977)<sup>27</sup> estudaram diversos solos do Hawai e encontraram uma baixa correlação entre erodibilidade e o teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade, que junto aos altos teores de argila dos solos estudados, mostram a validade limitada do nomograma de WISCHMEIER et alii (1971). O nomograma de ROTH et alii (1974), recomendado para subsolos argilosos, está baseado em parâmetros que parecem ser importantes para os solos tropicais, como os sesquióxidos e sílica extraíveis. No entanto, os autores salientam que os solos estudados do Hawai possuem teores muito maiores de sesquióxidos que os utilizados na elaboração do nomograma e que os sesquióxidos dissolvidos por citrato-ditionito representam, não são aqueles efetivos na agregação de partículas, mas também outros menos eficazes. Por isso, o uso do nomograma de ROTH et alii (1974), para esses solos ultrapassaria seus limites.

FREIRE E PESSOTTI (1976)<sup>37</sup> determinaram a erodibilidade de alguns solos do município de Piracicaba, SP, pelo nomograma de WISCHMEIER e obtiveram, entre outros, valores de 0,20 e 0,37 para o grande grupo Podzólico Vermelho Amarelo, 0,06 a 0,16 para Latossolo Vermelho Escuro, 0,06 para Latossolo Roxo e 0,06 a 0,13 para Terra Roxa Estruturada. Observaram também que o método do nomograma não se aplica para solos com muito baixa percentagem de silte mais areia muito fina.

POMBO et alii (1980)<sup>60</sup> determinaram o fator K de três solos do Rio Grande do Sul pelos nomogramas de ROTH et alii (1974) e WISCHMEIER et alii (1971) e o compararam com dados ob-

tidos por determinações diretas. Os autores concluíram que o nomograma de ROTH, para subsolos argilosos, não é adequado para solos tropicais com elevados teores em óxidos de Fe e Al, sendo que em dois dos três solos estudados o nomograma determinou valores de erodibilidade negativos (-0,08 e -2,52). Acrescentam ainda que os subsolos estudados por ROTH et alii (1974) apresentam teores de óxido de ferro bem inferiores aos solos por eles estudados. Para o outro solo, Terra Roxa Estruturada Similar-São Jerônimo, para a qual existiam dados do fator K, determinado em condições de chuva natural concluíram que os nomogramas de ROTH e WISCHMEIER superestimaram o subestimaram respectivamente o valor do fator K, (K determinado sob chuva natural = 0,33; K obtido pelo nomograma de ROTH et alii, 1974 = 0,72, e pelo nomograma de WISCHMEIER et alii, 1971 = 0,28).

HENKLAIN (1980)<sup>42</sup> testou a aplicabilidade do nomograma de WISCHMEIER et alii (1971) em três Latossolos do Estado do Paraná, concluindo que o método do nomograma não pode ser utilizado com segurança nas unidades de solo estudadas; que a precisão do nomograma é baixa quando é utilizado para solos que contêm baixa percentagem de silte mais areia muito fina; e que a variação da permeabilidade influi expressivamente nos valores da erodibilidade.

### 1.1.2 Erodibilidade dos Solos Utilizados no Trabalho

MONDARDO et alii (1978 b)<sup>54</sup> realizaram teste com simuladores de chuva para determinar a erodibilidade de um Latosol Roxo Distrófico com 8% de declividade. Foram utilizadas parcelas mantidas sem cobertura vegetal e, por ocasião dos testes, a cada 6 meses foram realizadas uma aração e duas gradagens

morro abaixo, obtendo-se, com 8 repetições, um valor médio de erodibilidade de 0,1217 para um comprimento de rampa de 11 m e 8% de declividade que, corrigido para 22 m e 9% de declive, foi para 0,1485. O fator K foi calculado da seguinte forma: total de perdas do solo das três chuvas aplicadas, dividido pela soma do Índice de erosividade das três chuvas. Continuando os trabalhos, MONDARDO et alii, (1978-79)<sup>53,55</sup> obtiveram os resultados apresentandos no quadro 1.

Para as condições de chuva simulada estes autores utilizaram o simulador de chuva tipo rotativo, em parcelas de 11 x 3,5 m. Os testes, manejo das parcelas e modo de coleta de enxurrada seguiram as recomendações do I Encontro Nacional sobre Pesquisa de Erosão com Simuladores de Chuva.

Para as condições de chuva natural utilizaram parcelas com dimensões de 11 x 3,5 m e 22 x 3,5 m. A coleta de enxurrada foi feita conforme descrito no Relatório Técnico Anual do Programa de Manejo e Conservação de Solos do IAPAR 1977.

Segundo MONDARDO et alii (1978)<sup>53</sup> os dados obtidos indicam razoável diferença nos índices de erodibilidade entre o solo de textura argilosa e o solo de textura média, aparentemente evidenciando uma menor suscetibilidade à erosão do Latossolo Vermelho Escuro Textura Média. Entretanto, esse índice de erodibilidade se refere à erosão laminar, que não significa menor risco de erosão, pois esses solos são mais sensíveis à formação de sulcos e voçorocas. Também concluem que o simulador de chuva permite a obtenção de índices de erodibilidade bem próximos aos de chuva natural.

HENKLAIN (1980)<sup>42</sup> apresenta um quadro com os fatores de erodibilidade dos horizontes superficiais (Ap<sub>1</sub>) de três solos,



QUADRO 1 - ÍNDICES PRELIMINARES DE ERODIBILIDADE DE ALGUNS SOLOS DO PARANÁ, DETERMINADOS ATRAVÉS DE CHUVAS SIMULADAS E CHUVA NATURAL

TIPO DE SOLO	ÍNDICES - CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS				ÍNDICES AJUSTADOS	
	Chuva Simulada	Chuva Natural			Chuva Simulada	Chuva Natural
	K <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>4</sub>
Latossolo Roxo Distrôfico (uso recente Trigo/Soja)	0,122*	-	-	-	0,149*	-
Latossolo Roxo Distrôfico (uso antigo Trigo/Soja)	0,156* 0,150**	0,149*	0,231*	0,407*	0,390* 0,375**	0,373* 0,370**
Latossolo Vermelho Escuro Textura Argilosa	0,074*	0,036*	-	-	0,091*	0,074*
Latossolo Vermelho Escuro Textura Média	0,017* 0,031**	- 0,023**	-	-	0,072* 0,087**	- 0,094**

FONTE: MONDARDO et alii (1978, 1979)

OBS: K<sub>1</sub> Valores obtidos em parcelas com 11m de comprimento e declive variável  
K<sub>2</sub> Valores obtidos em parcelas com 22m de comprimento e declive variável  
K<sub>3</sub> Valores obtidos em parcelas com 22m de comprimento, ajustados para 9% de declive  
K<sub>4</sub> Valores ajustados para 22m de comprimento e 9% de declive.

\*Valores fornecidos por MONDARDO (1979)<sup>55</sup>

\*\*Valores fornecidos por MONDARDO (1978)<sup>53</sup>

indicando os valores do fator K obtidos sob condições de chuva natural e simulada (quadro 2).

QUADRO 2 - VALORES DE K OBTIDOS COM CHUVA NATURAL E SIMULADA

TIPO DE SOLO	FATOR K	
	Chuva Natural	Chuva Simulada
Latossol Roxo Distrófico de Londrina	0,38	0,39
Latossol Vermelho Escuro Textura Média de Paranavaí	-	0,44
Latossol Vermelho Escuro de Ponta Grossa	0,07	0,10

FONTE: Fundação Instituto Agronômico do Paraná (1978) e HENKLAIN (1980)

BISCAIA, RUFINO e HENKLAIN (1981)<sup>6</sup> baseando-se em dados de perda de solo em parcelas com chuva natural e valores do índice de erosão (EI/30) de quatro anos, calcularam o fator de erodibilidade (K) por quatro métodos diferentes: Média Aritmética de eventos individuais ( $\bar{K}$ ); considerando a perda do solo anual e o índice de erosão ocorrido no ano ( $K_t$ ); calculado por correlação entre perdas de solo e índice de erosão individuais para cada ano ( $K_{ca}$ ) e calculado por correlação entre perdas de solo e índice de erosão individuais para o período considerado ( $K_c$ ).

Os autores colocam que, como a equação de perda de solo calcula perdas anuais, os valores de  $K_t$  devem representar melhor o valor real de K, e que os valores obtidos por correlação por ano ou considerando todos os dados, podem bem representar também o valor real de K. Além disso, tem-se uma medida da precisão desse valor.

Os diferentes valores do fator K são apresentados no quadro 3.

QUADRO 3 - VALORES DO FATOR K DO LATOSSOLO VERMELHO ESCURO DE PONTA GROSSA (LVE) E LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO, DE LONDRINA (LR)

SOLO	ANO	$\bar{K}$		Kt		Kca		Kc	
		11m	22m	11m	22m	11m	22m	11m	22m
LVE	1977	0,102	0,100	0,057	0,082	0,027 r=0,3	0,038 r=0,34	(1978-79-80)	
	1978	0,408	0,362	0,137	0,198	0,125 r=0,49	0,112 r=0,47		
	1979	0,108	0,127	0,110	0,155	0,118 r=0,54	0,208 r=0,78	0,078 r=0,47	0,167 r=0,77
	1980	0,079	0,233	0,033	0,163	0,018 r=0,57	0,149 r=0,81		
LR	1976	0,656	0,844	0,376	0,578	0,166 r=0,44	0,305 r=0,56	(1977-78-79)	
	1977	0,151	0,196	0,154	0,206	0,131 r=0,71	0,173 r=0,75		
	1978	0,137	0,185	0,118	0,164	0,078 r=0,63	0,134 r=0,71	0,104 r=0,66	0,153 r=0,72
	1979	0,163	0,171	0,138	0,150	0,131 r=0,61	0,157 r=0,58		

FONTE: BISCAIA, RUFINO e HENKLAIN (1981)

NOTA:  $\bar{K}$  média aritmética dos eventos individuais; Kt: considerando a perda do solo anual e o índice ocorrido no ano; Kca: calculado por correlação entre perdas do solo e índice de erosão individuais para cada ano; Kc: calculado por correlação entre perdas de solo e índice de erosão individuais para período considerado. Os valores não estão corrigidos para 22m de comprimento de rampa e 9% de declive

O valor que melhor representa a erodibilidade, segundo os autores, e o Kc que, corrigido para as condições padrão, possuem valores de 0,238 para o Latossolo Vermelho Escuro e de 0,268 para o Latossolo Roxo Distrófico.

RESCK et alii (1981)<sup>64</sup> apresentaram a erodibilidade de um Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico Distrófico fase terraço, localizado na Zona da Mata (MG), determinada com simulador de chuva tipo rotativo (quadro A.2).

O fator K foi determinado pela soma dos fatores K, parciais, calculados para as chuvas aplicadas a partir dos dados

obtidos de perdas de solo em t/ha e seu valor foi de 0,273.

As dimensões das parcelas foram de 11 x 3,5 m com declividade de 5%. Nos testes foram seguidas as recomendações do I Encontro Nacional sobre Pesquisa de Erosão com Simulador de Chuva (1975).

CASSOL et alii (1978)<sup>20</sup> apresentam os resultados preliminares da erodibilidade do solo "São Jerônimo" (Laterítico Bruno Avermelhado Distrófico) determinada com simulador de chuva. Para a aplicação dos testes foram seguidas as recomendações do I Encontro Nacional sobre Pesquisa de Erosão com Simulador de Chuva (1975). Em uma área experimental com solo já cultivado durante dois anos, possuindo 6,8% de declive, sem cobertura vegetal, foram efetuadas uma aração e duas gradagens no sentido do declive. As parcelas experimentais eram de 3,5 x 11 m.

Os autores encontraram variações nos valores obtidos entre as repetições, com uma amplitude de variação superior à esperada. Salienta-se que o valor médio de K obtido, de 0,22, não constitui o fator K final, mas apenas um índice de erodibilidade que poderá ser utilizado para comparações com índices obtidos nas mesmas condições em outros tipos de solo.

CASSOL et alii (1980)<sup>21</sup> apresentam a erodibilidade do solo "São Jerônimo" obtido com simulador de chuva. Os estudos são prosseguimentos dos trabalhos antecipados por CASSOL et alii (1978)<sup>20</sup> em que foram realizados cinco testes com duas repetições cada uma, sendo encontrado um valor médio de K para todas as determinações de 0,31 (quadro A.4). Os autores consideram que esse valor pode ser utilizado como índice de erodibilidade na classificação de solos, da mesma forma que pode ser empregado como fator K na equação universal de perdas de solo.

Os autores indicam, ainda, que apesar de algumas pequenas diferenças na metodologia de trabalho empregada pelos diversos autores nas pesquisas conduzidas com simulador de chuvas do tipo rotativo os valores de erodibilidade obtidos foram muito próximos aos obtidos com chuva natural, conferindo segurança para o emprego do fator K obtido com simulador de chuva na equação universal de perda de solo.

Salienta-se, no estudo que o fator K provém da soma das perdas de solo provocadas pelas três chuvas simuladas da série aplicada, dividido pela erosividade total dessas chuvas. Esse valor K para cada repetição, não representa o somatório dos possíveis valores parciais de K obtidos em cada chuva da série aplicada. Esse procedimento se baseia no fato de que as três chuvas da série aplicada com simulador de chuvas não podem ser consideradas isoladamente e sim num contexto único, em que se busca simular as condições mais favoráveis à ocorrência de erosão hídrica do solo, as quais possam perfeitamente ocorrer em condições naturais, com a finalidade de se determinar valores de erodibilidade do solo que forneçam segurança nas condições mais desfavoráveis possíveis.

ELTZ et alii (1980)<sup>28</sup> no trabalho sobre perdas de solo com diferentes manejos de solo e coberturas vegetais no solo "São Jerônimo" (Terra Roxa Estruturada Similar) com declividade de 12%, determinaram que o fator K foi calculado a partir dos dados de perdas de solo na parcela descoberta em preparo convencional e da erosividade da chuva de três anos (junho/77 a maio/80). O fator K, corrigido para as condições padrão de 9% de declive foi de  $K = 0,33$ , considerado como um valor preliminar para erodibilidade deste solo.

WUNSCHÉ e DENARDIN (1978)<sup>86</sup> apresentaram a erodibilidade de um Latossolo Vermelho Escuro Álico (Unidade de mapeamento Passo Fundo) obtida em experimentos conduzidos sob chuva natural e com simulador de chuvas. Os valores obtidos para chuva natural correspondem ao período de novembro de 1976 a novembro de 1977. Nesse período a erosividade da chuva (EI) foi de 1276,6 e as perdas de solo de 253,370 t/ha e a erodibilidade (K) de 0,20.

Os valores obtidos nos testes com simulador de chuvas, (quadro A.5) forneceram um valor de  $K = 0,25$ .

Os autores concluíram que grande viabilidade nos valores obtidos com simulador de chuva demonstra a necessidade de se realizar um maior número de testes.

WUNSCHÉ (comunicação pessoal, 1982), para um total de 24 repetições com simulador de chuva determinou para esse solo um valor K de 0,21.

MARGOLIS e CAMPOS FILHO (1980)<sup>50</sup> determinaram, entre outros, o fator K de um Podzólico Vermelho Amarelo de Glória do Gotiã (PE), com 12% de declive, em condições de chuva natural.

Todas as parcelas foram preparadas manualmente. As perdas de solo foram medidas por um período de 5 (cinco) anos, e para o cálculo das perdas médias se estabeleceu uma proporção entre as perdas reais verificadas anualmente, com as chuvas ocorridas e aquelas esperadas para uma chuva correspondente ao total médio do período. O índice de erosividade das chuvas EI foi calculado durante o período 1969/78. Para o fator K foi encontrado um valor de 0,16 que, corrigido para as condições padrão, foi de 0,10.

BERTONI et alii (1975)<sup>5</sup> obtiveram para o Latossolo Roxo

que ocorre no Centro Experimental de Campinas um valor de  $K = 0,1222$ , sob condições de chuva natural, para o ano de 1974.

LOMBARDI NETO (comunicação pessoal, 1982), obteve um valor de 0,122 calculados para 3 anos conforme dados de chuva natural.

CASSOL (comunicação pessoal, 1982), obteve os seguintes valores de perdas de solo e EI 30 para o solo Latossolo Roxo Distrófico, Unidade de Mapeamento Santo Ângelo, Ijuí - RS (quadro 4).

QUADRO 4 - VALORES DE PERDAS DE SOLO - LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO - UNIDADE DE MAPEAMENTO SANTO ÂNGELO - IJUÍ-RS

ANO	PERDAS (t/ha)	EI 30
1º (1978-79)	67,00	913,04
2º (1979-80)	42,84	787,69
3º (1980-81)	61,42	1 188,71

FONTE: CASSOL (Comunicação pessoal, 1982)

As parcelas utilizadas têm um tamanho de 3,5 m x 22 m e uma declividade de 7,5%.

## 1.2 AGREGAÇÃO E ESTABILIDADE DOS AGREGADOS DO SOLO

### 1.2.1 Relação entre a Agregação e as Características Físicas e Químicas do Solo

BROWNING (1937)<sup>16</sup> verificou que a matéria orgânica aumenta o número de agregados grandes quando aplicada a solos com estrutura relativamente pobre, indicando que um pequeno incremento de material cimentante foi necessário para a forma-

ção de agregados estáveis. A matéria orgânica, quando adicionada a solos contendo apreciáveis quantidades de material coloidal, orgânico ou inorgânico, ativo, a dispersão ou agregação não teve significativa mudança.

PEELE et alii (1938)<sup>58</sup> pesquisando um solo argiloso, encontrou que as aplicações de calcário no solo produzem a dispersão de agregados, enquanto que as aplicações de matéria orgânica favorecem a agregação e o aumento da permeabilidade.

ELSON e LUTZ (1940)<sup>26</sup> estudaram os fatores que afetam a agregação do solo. Os autores encontraram que a adição de cálcio, através de superfosfato, resulta em um decréscimo da agregação do solo, sugerindo que esse fato parece ser consequência da formação de humatos de Ca e Mg, que são agentes de agregação menos eficiente que os humatos de H, Fe e Al. Acrescentam que os humatos de sesquióxidos e hidrogênio aumentam a agregação do solo independente do teor de matéria orgânica. Os autores concluíram que nas causas da agregação, a condição da matéria orgânica é mais importante que o seu total. Por exemplo, o solo está melhor agregado quando os humatos estão combinados com H e sesquióxidos que quando combinados com Ca e Mg.

GISH e BROWNING (1948)<sup>40</sup> pesquisando os fatores que afetam a estabilidade de agregados, determinaram que ela é afetada pela umidade do solo no momento da amostragem.

ALDERFER e MERKLE (1941)<sup>1</sup> correlacionaram a estabilidade de agregados, expressa sob a forma de Índice de estabilidade, com teor de matéria orgânica. Obtiveram, para um dos solos pesquisados, um coeficiente de correlação de  $0,64 \pm 0,13$ .

BAVER et alii (1972)<sup>4</sup> indicam que os elementos formadores de agregação são: matéria orgânica, cátions de alumínio e



divalentes de ferro. O autor estudando 77 solos lateríticos dos Estados Unidos, encontrou uma correlação entre as porcentagens de agregados e matéria orgânica, concluindo que a matéria orgânica é a maior causa da agregação dos solos estáveis.

BRIONES e VERACION (1965)<sup>15</sup> pesquisaram a relação da estabilidade de agregados com as propriedades físicas e químicas de solos da Ilha de Luzon (Filipinas). A maioria dos solos dessa área são latossolos com alto grau de agregação. A estabilidade de agregados foi determinada utilizando a técnica de YODER (1936)<sup>87</sup> com agregados < 3 mm e uma peneira de 2mm de malha. Os autores encontraram um coeficiente de correlação de 0,747 entre o teor de argila e os agregados estáveis. Para a matéria orgânica e para a estabilidade de agregados encontraram um coeficiente decorrelação de 0,344, com 62 graus de liberdade e um nível de significância de 1% e, combinando os três parâmetros, obtiveram a equação:

$$(5) \quad Y = 54,02 + 0,50 X_1 + 4,71 X_2 \quad \text{onde}$$

$X_1$  = teor de argila e  $X_2$  = teor de matéria orgânica.

Os autores indicam ainda que as pendentes das retas de regressão simples e múltipla, em relação à estabilidade dos agregados, são muito mais altas para a matéria orgânica que para o teor de argila. No entanto, como este teor excede muito à primeira, existe maior contribuição da argila para explicar a estabilidade dos agregados que da matéria orgânica.

Além disso, os solos que possuem 50% ou mais de argila parecem estar associados a um alto grau de estabilidade, mas esse estado físico não pode ser explicado só pelo aumento na concentração de argila. Um efeito similar foi encontrado na correlação da estabilidade de agregados com a relação argila/

silte mais areia. Também o papel dos óxidos livres como agentes cimentantes foi avaliado, concluindo-se que eles não contribuem substancialmente no incremento da agregação do solo.

PÉREZ ESCOLAR e LUGO LÓPEZ (1968)<sup>5,9</sup> estudando os solos argilosos (Oxisol e Ustisol) de Porto Rico, encontraram que a matéria orgânica é um importante agente cimentante. Quando compararam o teor de matéria orgânica, sesquióxidos livres e textura de diferentes diâmetros de agregados (>5mm, 5-3mm, 3-2mm, 2-1mm) de um mesmo solo, não encontrando diferenças significativas.

LUGO LÓPEZ e PÉREZ ESCOLAR (1969)<sup>4,8</sup> tentaram avaliar matematicamente o efeito do conteúdo de argila, silte, matéria orgânica, cálcio mais magnésio e sódio solúvel sobre a estabilidade de agregados de um grupo de Vertisol de Porto Rico. Eles encontraram que as relações entre estabilidade de agregados e o teor de argila e silte não foram significativas. Quando incluíram o teor de matéria orgânica como variável independente, obtiveram um coeficiente de correlação de 0,66, que resulta altamente significativo; e ao incluir as variáveis conteúdo Ca+Mg e Na solúvel, obtiveram coeficientes de correlação de 0,70 e 0,74, respectivamente. Isso indica que somente uma pequena, mas significativa porção adicional, poderá ser atribuída a essas últimas variáveis.

CHAKRABARTI (1971)<sup>2,2</sup> pesquisou a relação entre a estabilidade de agregados > 0,25 mm e outras propriedades de solos do Leste de Nepal, encontrando coeficientes de correlação significativos a nível de 1% entre os agregados estáveis > 0,25mm e a capacidade de retenção de água, cálcio trocável, C.T.C., carbono orgânico e fósforo total. Essa correlação, entretanto,

não foi significativa entre os agregados estáveis  $> 0,25$  mm e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  livres e o teor de argila.

EL-SWAIFY e DANGLER (1977)<sup>27</sup> definiram o  $\Delta\text{pH}$  como a diferença entre o pH em KCl e o pH em água. O  $\Delta\text{pH}$  pode ser positivo, zero ou negativo para solos com carga líquida positiva, zero ou negativa, respectivamente. No entanto, é a magnitude mais que o sinal do  $\Delta\text{pH}$  que está relacionada com a estabilidade estrutural. A máxima estabilidade estrutural deveria ocorrer a  $\Delta\text{pH} = 0$ , com igual decréscimo na estabilidade para iguais incrementos ou decréscimos em  $\Delta\text{pH}$  (TAMA, 1975 citado por EL-SWAIFY e DANGLER, 1977).<sup>27</sup>

TOOGOOD (1978)<sup>70</sup> estudando solos de Alberta - Canadá, encontrou uma forte correlação entre as estabilidade dos agregados, representada como Diâmetro Médio Ponderado, e o conteúdo de matéria orgânica, teor de argila, superfície específica e equivalente de  $\text{CaCO}_3$ .

### 1.2.2 Metodos para Determinar a Estabilidade dos Agregados e sua Resistência ao Impacto da Gota

BOUYOUCOS (1929)<sup>7</sup> propôs um método para determinar a estabilidade de agregados baseado no método do hidrômetro idealizado por ele mesmo em 1927, para determinar o conteúdo coloidal do solo e, em 1928, para realizar análises granulométricas. Uma amostra de solo não perturbado, seco ao ar, é submersa em água e em seguida, com o hidrômetro, determinam-se as diferentes frações de agregados. Esse método só pode ser utilizado para agregados menores de 0,2 mm.

YODER (1936)<sup>87</sup> propôs um método para determinar a estabilidade de agregados que consiste no peneiramento em água.

Nesses estudos salienta a necessidade de padronizar o pré-tratamento das amostras, sugerindo que o secamento ao ar seja o método escolhido, realizando a análise logo após esse secamento.

A utilização de amostras à capacidade de campo segundo YODER (1936)<sup>87</sup> pode levar a conclusões errôneas na avaliação da estabilidade de agregados, ao igual que o peneiramento prévio com malha de 2 mm, pois muitos solos possuem considerável quantidade de agregados com dimensões maiores e, portanto, a passagem pela peneira de 2 mm implica na destruição de uma parte da agregação que se está tentando medir e, por isso, YODER (1936) utilizou uma peneira de 5 mm. Este autor também critica o método de elutriação para determinar estabilidade de agregado, proposto por BAYER e RHOADES (1932), que é baseado na lei de Stokes. Nesse método é necessário determinar a densidade dos agregados e as formas variáveis dos agregados conduzem a erros nas determinações. Além disso, esse método não é satisfatório para agregados > 0,5 mm e, finalmente, as turbulências que podem ocorrer no elutriador provocam variações na velocidade de assentamento dos agregados.

YODER (1936)<sup>87</sup> descreve também o efeito do ar retido nos agregados que causa a ruptura desses quando são umedecidos por imersão à pressão atmosférica, indicando que esse efeito pode ser evitado removendo o conteúdo do ar dos poros antes da imersão.

KEMPER e CHEPIL (1965)<sup>45</sup> abordam diferentes aspectos relacionados às metodologias de determinação da estabilidade dos agregados. Geralmente todas as partículas do solo tem algum grau de agregação, portanto a separação da massa do solo em agregados implica na imposição de uma força de ruptura. Conse-

quentemente, o maior fator que determinará a distribuição do tamanho dos agregados do solo é a forma pela qual a massa do solo é quebrada em agregados. Assim, para que a determinação da estabilidade de agregados tenha um significado de campo, as forças responsáveis pela desintegração da massa do solo deverão ser forças semelhantes às que atuam no campo. Dessa forma, a escolha das condições sob as quais a distribuição do tamanho dos agregados deve ser medida será determinada através do objetivo da análise.

Esses autores são favoráveis a utilização do método de peneiramento para determinar a estabilidade de agregados, criticando os métodos de sedimentação e elutriação. Esclarecem que na determinação da estabilidade dos agregados a úmido, o maior fator que afeta a estabilidade dos agregados é o método pelo qual eles são molhados ou umedecidos, e que a imersão direta do agregado seco em água, à pressão atmosférica, provoca uma ruptura dos maiores agregados, transformando-os em pequenos agregados. Um grau muito menor de ruptura é causado quando o solo é umedecido sob tensão, vácuo ou com uma fina pulverização de água.

Nesses estudos, os autores citam KEMPER e KOCH (1965), que acharam uma estreita correlação na estabilidade dos solos umedecidos sob tensão e vácuo. Salientam que, utilizando vácuo, os resultados são mais reproduzíveis e mais rápidos.

Na pesquisa sobre a reprodutividade das determinações de distribuição do tamanho de agregados sob vácuo, foram detectados alguns problemas devido à falta de padronização da forma de transferência dos agregados umedecidos a vácuo para as peneiras e imprecisões na obtenção do vácuo e, concluindo, sugeriram

que a reprodutividade das determinações podem ser melhoradas utilizando água deareada.

KEMPER (1965)<sup>44</sup> indica que quando o objetivo do trabalho é investigar a resistência do solo à erosão pela água, deve ser utilizada a distribuição do tamanho de agregados a úmido, salientando que as forças utilizadas em laboratório para determinar a estabilidade dos agregados devem simular aquelas que ocorrem no campo. Assim as forças de abrasão impostas durante o peneiramento podem ser relacionadas empiricamente com a erosão por água e vento. Muitos pesquisadores, reconhecendo esse empirismo tem utilizado a estabilidade de agregados e a distribuição de seus tamanhos como um índice da estrutura do solo.

Sobre a desintegração dos agregados por água, KEMPER (1965)<sup>44</sup> salienta que vários podem ser os mecanismos pelos quais a água rompe os agregados. A água corrente tem energia suficiente para destacar e transportar partículas e agregados e as partículas em movimento aumentam, por atrição, essa desintegração.

Também o umedecimento dos agregados pode provocar a sua desintegração e dentre os fatores mais importantes destaca-se o ar que fica retido no agregado quando é submerso. A entrada da água nos poros pelas forças de capilaridade comprimem o ar que está lá dentro até o rompimento do agregado. Essas rupturas são parcialmente responsáveis pela desintegração dos agregados do solo quando esses são irrigados por inundação. A parte subsuperficial do solo é umedecida mais lentamente sob tensão e esse processo tem muito menor efeito.

Quando o objetivo de um trabalho é investigar a resis-

tência do solo a erosão hídrica, as forças atuantes no campo podem ser simuladas em parte aplicando forças trativas ao solo úmido em laboratório.

Através do método de imersão direta, as forças de desintegração encontrada em condições de inundação e erosão laminar são simuladas, enquanto que para a erosão em sulcos é mais adequado o umedecimento a vácuo.

O tipo mais comum de desintegração dos agregados em solos cultivados ocorre na sua maior parte por desagregação ou desmoronamento durante o primeiro umedecimento depois do preparo. Como esse umedecimento ocorre sob tensão, o método mais indicado seria o umedecimento feito dessa forma. Entretanto, esse método é muito demorado e, com frequência, não é suficientemente reprodutível (KEMPER 1965).<sup>44</sup> O umedecimento a vácuo fornece resultados mais rápidos e mais reprodutíveis e ainda possuem uma correlação com os resultados obtidos sob tensão.

KEMPER (1965)<sup>44</sup> recomenda, portanto, o método de umedecimento a vácuo para as determinações de estabilidade de agregados.

Dentre as precauções metodológicas que devem ser observadas na determinação da estabilidade de agregados, KEMPER (1965)<sup>44</sup> coloca que os instrumentos como pá ou tubos são preferíveis aos trados na amostragem do solo, pois produzem menos compressão. Para minimizar esse efeito, recomenda tomar a amostra quando o solo tem uma umidade entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente.

O secamento da amostra deve ser à temperatura ambiente, porque o secamento a altas temperaturas pode causar desidratação irreversível ou de reversibilidade muito lenta, enquanto

que o secamento à temperatura ambiente não é muito severo e é rapidamente reversível.

Os testes, após a secagem da amostra, devem ser feitos tão rapidamente quanto possível, uma vez que a estabilidade tende a aumentar com o tempo de armazenamento (KEMPER, 1965).<sup>44</sup>

O tempo de peneiramento mais adequado, determinado empiricamente é segundo KEMPER (1965)<sup>44</sup> de 5 minutos para um aparelho de 42 revoluções por minuto e 0,5 polegada de deslocamento vertical. Mas o mesmo autor indica que para solos que contêm óxidos livres de ferro, a percentagem de agregados estáveis com umedecimento a vácuo é próxima a 100% e, portanto, um peneiramento mais enérgico ou mais prolongado deve ser utilizado para diferenciar graus de estabilidade dos solos.

KEMPER (1965)<sup>44</sup> indica que existe uma leve tendência da estabilidade dos agregados diminuir quando a água aumenta de 20° para 30° C, recomendando utilizar água entre 22° a 25° C e que a água utilizada seja livre de sais, com uma condutividade elétrica  $< 10^{-5}$  mhos, pois os sais dissolvidos na água podem provocar mudanças no status iônico e estabilidade dos solos. O autor também propõe que as repetições sejam realizadas em dias diferentes, porque KEMPER e KOCH (1965) acharam variações de 4,0% e 1,2% para solos de textura grossa e fina respectivamente, em determinações realizadas em dias sucessivos.

KEMPER e CHEPIL (1965)<sup>45</sup> indicam que a percentagem de variação do DMP para as repetições deveriam ser  $< 7\%$ .

Em relação à resistência dos agregados, McCALLA (1944)<sup>52</sup> estudou o efeito de vários fatores na ruptura de agregados pelo impacto de gotas de água. Os testes consistiram na aplicação de gotas sobre agregados colocados sobre uma peneira de 1mm de



abertura até que o agregado quebrasse e passasse por ela. Em um dos dois tipos de solo testados a determinação do ponto final do teste apresentou dificuldades. O agregado rompia-se em vários agregados menores que não passavam pela peneira e que deviam ser mantidos junto com uma espátula até que passassem. Para cada teste, foram realizadas três repetições com 20 determinações individuais cada uma.

Agregados de 0,05 g e 0,35 g foram testados observando-se a necessidade de um maior número de gotas por massa de solo para quebrar os agregados menores, enquanto que para os agregados de 0,15 g a 0,35 g houve um pequeno decréscimo. O aumento registrado é devido, provavelmente, ao fato de que os agregados menores não absorvem de maneira completa o impacto da gota.

Alturas de queda de 5 a 150 cm também foram testadas, não se observando variações significativas, apenas uma ligeira diminuição no número de gotas aplicadas de 5 cm das aplicadas a 30 cm ou mais. A altura da queda segundo o autor tem pouca influência na ruptura dos agregados porque os principais efeitos na destruição do agregado seco são o umedecimento e a expansão.

Ainda foram testados intervalos da queda das gotas de 0,55 seg a 36 seg, encontrando-se em um dos solos um aumento do número necessário de gotas para quebrar o agregado, quando aplicadas com mais frequência e no outro solo não se observou diferença.

Os testes com água a 0°C, 28°C (temperatura ambiente) e 60°C realizados detectaram uma ligeira diminuição das gotas necessárias para quebrar o agregado quando a água estava mais quente. Provavelmente as variações na temperatura ambiente não

tem grande influência nos resultados.

Os tamanhos de gotas de 4,7 mm, 3,4 mm e 2,4 mm, ao serem testadas, demonstraram que um decréscimo no tamanho da gota provoca aumento no número de gotas e uma diminuição na quantidade de água requeridos para quebrar o agregado.

A resistência de agregados de solos secos ao ar e umedecidos durante 15 min sobre um algodão saturado, também foi testado, comprovando a exigência de um número de gotas ligeiramente menor para desagregar os agregados úmidos, mas não suficiente para indicar que as amostras devem ser utilizadas com teores de umidade constante.

As condições de testes sugeridas por McCALLA (1944)<sup>52</sup> são: agregados de 0,15 g secos ao ar, gotas de água destilada de 4,7 mm de diâmetro e uma queda de 30 cm.

O autor conclui que, devido à necessidade de 2 000 vezes mais energia para esmagar o agregado seco por compressão que para quebrá-lo pelo impacto da gota, a ação das gotas se exerce principalmente através do umedecimento e expansão do agregado.

SMITH e CERNUDA (1951)<sup>69</sup> testaram a estabilidade de solos tropicais de Porto Rico, utilizando o método proposto por McCALLA (1944) e também um método próprio. O primeiro método não pode ser utilizado satisfatoriamente porque são os agregados mais fracos eram destruídos. Assim, os autores propuseram um teste mais energético para determinar a estabilidade de agregados. Pesquisaram também a influência do tempo de contato da água com os agregados e o efeito da retirada da água e do ar dos poros dos agregados.

A respeito do tempo de contato dos agregados com água,

acharam que alguns agregados que pareciam muito estáveis quando as gotas eram aplicadas diretamente sobre os agregados secos ao ar, eram completamente desagregados quando imersos em água, evidenciando nesse caso que a resistência do agregado está mais relacionada ao tempo de contato com a água que ao impacto da gota.

O teste proposto consiste em utilizar agregados secos ao ar de aproximadamente 1 g, submergi-los durante 30 minutos ou até que as evidências de desagregação cessem; drenar vagarosamente cada agregado e submetê-lo ao impacto de gotas de 0,1 g de massa, com uma frequência de 1 gota/seg e uma altura de queda de 60 cm.

O exame dos testes realizados mostrou que sob as condições de clima tropical o processo de destruição dos agregados envolve, no mínimo, três fases: hidratação das superfícies, ruptura causada pelo ar preso nos poros e energia cinética do impacto da gota.

### 1.2.3 Diferentes Formas de Representar a Estabilidade dos Agregados

Para representar a agregação do solo e a estabilidade de agregados foram propostas e utilizadas muitas formas. Algumas comportam a utilização de uma determinada fração ou diâmetro de agregados, outras são mais complexas e envolvem diversas frações.

BOUYOUCOS (1929)<sup>7</sup> propôs o uso da "estrutura natural fundamental" para caracterizar a agregação de um solo. Esse parâmetro deve ser determinado pelo método do hidrômetro, proposto por BOUYOUCOS (1928) para realizar análises granulométricas, com algumas modificações. A principal delas é não dispersar o

solo, obtendo-se, assim, uma curva de freqüência de agregados.

TIULIN (1932), citado por BROWNING et alii (1944)<sup>17</sup> é um dos primeiros autores a propor uma fração de agregados para definir a agregação do solo. O autor considerou que os agregados > 0,25 mm são uma fração importante para caracterizar a estabilidade de agregados.

YODER (1936)<sup>87</sup> utiliza a curva de distribuição de agregados de oito frações para expressar esse parâmetro.

Dentre os autores que utilizaram formas mais complexas, salientam-se PURI e PURI (1939)<sup>61</sup> que propõem a representação da estabilidade de agregados por um único valor, composto por valores provenientes de várias frações de agregados.

Eles elaboraram três índices:

a) "tamanho médio ponderado", que pode ser expresso como:

$$(6) \quad M = \frac{w \cdot d}{w} \quad \text{onde}$$

"M" é o tamanho médio ponderado, "w" a massa de fração considerada, expresso em percentagem e "d" o diâmetro médio da fração. Segundo os autores, esses valores podem ser obtidos a partir da curva acumulativa de distribuição de agregados:

b) "desvio padrão", que pode ser expresso como:

$$(7) \quad \delta = \frac{\sum w \cdot d}{\sum w} \quad \text{onde}$$

$\delta$  é o desvio padrão e "w" e "d" têm o mesmo significado que na equação anterior;

c) o número de SCHOKLISTSCH, que corresponde à relação entre as áreas localizadas abaixo e acima da curva de freqüência acumulada, e pode ser representado como:

$$(8) \quad K = \frac{A}{B} \quad \text{onde}$$

K é o número de SCHOKLISTSCH, A a área acima da curva e B a área abaixo da curva.

ALDERFER e MERKLE (1941)<sup>1</sup> propuseram o "Índice de estabilidade", que é calculado a partir das curvas de frequência acumulada de agregados e de partículas. Segundo os autores:

$$(9) \quad S = \Sigma a - \Sigma m \quad \text{onde}$$

"S" é o índice de estabilidade,  $\Sigma a$  é a percentagem total dos agregados à esquerda da intersecção das duas curvas e  $\Sigma m$  é a percentagem total das partículas à esquerda da intersecção.

RETZER e RUSSEL (1941)<sup>65</sup> propuseram o "coeficiente de agregação" que é igual a:

$$(10) \quad 2.10^6 / (w/d) \quad \text{onde}$$

"w" é a massa dos agregados de cada fração e "d" o diâmetro médio dos agregados da fração.

WILSON e BROWNING (1946)<sup>80</sup> utilizaram vários diâmetros de agregados para expressar a agregação do solo e estudaram a relação entre esses e as perdas de solo e água, encontrando que para esse objetivo o melhor índice de agregação era fornecido pelos agregados >2mm.

RUSSEL e FENG (1947)<sup>67</sup>, utilizando agregados >0,25mm, estabeleceram que a massa dos agregados retidos é função do tempo de peneiramento e pode ser expresso como:

$$(11) \quad \log w = a - b \log T \quad \text{onde}$$

"w" é a massa dos agregados retidos, "T" o tempo de peneiramento. Os parâmetros "a" e "b" foram designados como "es-

tabilidade inicial" e "taxa de desintegração" respectivamente. Os autores sugerem que esses parâmetros podem ser utilizados para caracterizar a estabilidade de agregados.

VAN BAVEL (1949)<sup>74</sup> propôs o "diâmetro médio ponderado" (DMP) como um índice de agregação, sendo expresso como:

$$(12) \quad F(x) = \int_0^x F(x) dx \quad \text{onde}$$

$F(x)$  é a função da frequência acumulada.

Para agregados menores de 8 mm, por integração parcial, se obtém:

$$(13) \quad DMP = 80 - \int_0^{10,8} F(x) dx \quad \text{onde}$$

DMP é o diâmetro médio ponderado

Graficamente a equação representa a área sob a curva de frequência acumulada.

MAZURAK (1950)<sup>51</sup> propôs a utilização do "tamanho médio geométrico" (TMG) para representar a estabilidade de agregados, indicando que esse parâmetro é mais significante quando se relaciona com fenômenos estruturais que envolvem superfície. O tamanho médio geométrico é expressado matematicamente como:

$$(14) \quad TMG = \frac{\text{Diâmetro superior de agregado expresso em } \mu}{2 \exp. (\Sigma \text{ das percentagens acumuladas de agregados estáveis})}$$

100

GARDNER (1956)<sup>39</sup> salienta que a escolha de uma determinada fração de agregados para representar o índice de agregação do solo é arbitrária. Estudando mais de 200 curvas de frequência acumulada observou que a maioria apresentava uma distribuição logarítmo-normal ou muito próxima dela, propondo a utilização do "diâmetro médio geométrico" e do "desvio padrão".

Esses parâmetros, segundo o autor, podem ser obtidos a partir de curvas de frequência acumulada traçadas sobre eixos log-normal, onde a função logarítmica é o diâmetro dos agregados e a função normal a massa dos agregados de cada diâmetro considerados.

KEMPER e CHEPIL (1965)<sup>4 5</sup> propuseram a seguinte equação para o diâmetro médio ponderado, originalmente proposto por VAN BAVEL (1949):

$$(15) \quad DMP = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i w_i \quad \text{onde}$$

$\bar{x}_i$  é o diâmetro médio de cada fração e  $w_i$  é a razão da massa da fração correspondente em relação à massa total da amostra, eliminada as areias e material de textura grossa.

Esta substituição da integral original por um somatório é justificada pelo fato de que o primeiro implica em um longo processo de determinação gráfica. Além disso, existe muito boa correlação entre DMP calculado por integração e por somatória ainda quando somente cinco frações são utilizadas.

Os mesmos autores propõem a seguinte equação para calcular aproximadamente o Diâmetro Médio Geométrico (DMG):

$$(16) \quad DMG = \exp \frac{\sum_{i=1}^n w_i \log \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{onde}$$

$w_i$  é a massa dos agregados de cada classe de tamanho,  $\bar{x}_i$  é o diâmetro médio de cada classe de tamanho,  $\sum_{i=1}^n w_i$  é a mas-

sa total da amostra.

KEMPER e CHEPIL (1965)<sup>45</sup> salientam a necessidade de expressar a agregação na forma de um único parâmetro. Segundo os autores, os melhores métodos para representar a distribuição do tamanho de agregados parece ser DMP e o logaritmo do desvio padrão.

Vários autores tem relacionado as diferentes formas de expressar a estabilidade de agregados. BROWNING et alii (1944)<sup>17</sup> encontraram uma correlação curvilínea positiva entre o coeficiente de agregação proposto por RETZER e RUSSEL (1941)<sup>65</sup> e as percentagens de agregados  $> 0,1$  mm,  $> 0,25$  mm e  $> 0,5$  mm, acrescentando que a correlação decresce à medida que o tamanho dos agregados aumenta. Os autores encontraram também uma correlação linear entre a percentagem de agregados  $> 0,1$  mm e  $> 0,25$  mm. Não encontraram correlação entre índice de dispersão proposto por MIDDLETON (1930) e os agregados  $> 0,25$  mm.

SCHALLER e STOCKINGER (1953)<sup>68</sup> compararam cinco formas de expressar a agregação do solo, os agregados  $> 2$  mm,  $> 1$  mm,  $> 0,25$  mm, DMP e DMG, concluindo que uma só fração, como os agregados  $> 2$  mm ou  $> 1$  mm, pode ser satisfatoriamente utilizada para expressar a agregação do solo. Esse método é tão confiável, a nível de significância de 1%, quanto os obtidos pelos índices que utilizam todas as frações. No entanto, indicaram que são necessárias mais repetições para se obter a mesma precisão quando é usado só um tamanho de agregado. Os coeficientes de correlação encontrados estão apresentados no quadro 5.



QUADRO 5 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO E VARIAÇÃO DE CINCO FORMAS DE EXPRESSAR A AGREGAÇÃO DO SOLO

PARÂMETRO	COEFICIENTE CORRELAÇÃO <sup>1</sup>	PARÂMETRO	COEFICIENTE VARIAÇÃO <sup>2</sup>
DMP vs. >2mm	0,958	DMP	14,4%
DMP vs. >1mm	0,913	DMG	10,1%
DMP vs. >0,25mm	0,586	>2mm	24,6%
DMP vs. >DMG	0,891	>1mm	15,2%
DMG vs. >2mm	0,866	>0,25mm	7,34%
DMG vs. >1mm	0,882		
DMG vs. >0,25 mm	0,665		

FONTE: SCHALLER e STOCKINGER (1953)<sup>6,8</sup>

OBS.:<sup>1</sup>Para 432 amostras de 5 solos

<sup>2</sup>Para 16 repetições de um mesmo solo

CONAWAY e STRICKLING (1962)<sup>2,3</sup> calcularam a estabilidade de agregados de 24 formas diferentes e determinaram a precisão de cada método para distinguir estabilidade de agregados produzidos por sistemas de manejo em diferentes tipos de solos. Os autores verificaram que, em geral, a somatória simples das frações de agregados estáveis distinguem bem os diferentes sistemas de manejo e são tão sensíveis quanto os métodos mais demorados. Além disso, concluíram que as mudanças na estabilidade de agregados foram melhor refletidas pelos agregados de 0,5 a 2mm.

## 2 MATERIAL E MÉTODO

### 2.1 SOLOS ESTUDADOS

Para atender aos objetivos do trabalho foram obtidas amostras do horizonte Ap de dez solos com a erodibilidade determinada por métodos diretos, ou seja com parcelas experimentais e chuva natural ou com a aplicação de chuvas simuladas.

A procedência e algumas características físicas desses solos são apresentados na figura 1 e no quadro 6.

### 2.2 ERODIBILIDADE DOS SOLOS ESTUDADOS, OBTIDA POR MÉTODOS DIRETOS

A existência de diversos valores do fator K para um mesmo solo foi um dos problemas encontrados na caracterização da erodibilidade dos solos, sendo necessário analisar os diferentes valores e escolher os mais confiáveis, os quais estão apresentados no quadro 7.

QUADRO 7 - FATOR K DOS SOLOS ESTUDADOS UTILIZADOS NO TRABALHO

SOLO	FATOR K		MÉDIO
	Chuva Natural	Chuvas Simuladas	
LR-PR	0,32	0,39	0,36
LR-RS	0,08	-	0,08
LR-SP	0,12	-	0,12
LVM-PR	-	0,44	0,44
LV-PR	0,22	-	0,22
LV-RS	0,20	0,21	0,21
PVLM-PR	0,26	-	0,26
PV-PE	0,10	-	0,10
PV-MG	-	0,09	0,09
TRE-RS	0,33	0,31	0,32

FGNTE: BISCAIA et alii (1981); MONDARDO et alii (1979); HENKLAIN (1980); CASSOL (Comunicação Pessoal, 1982); BERTONI et alii (1975); LOMBARDI (Comunicação Pessoal, 1982); WÖNSCHE e DENARDIN (1978); WÖNSCHE e equipe (Comunicação Pessoal, 1982); HENKLAIN (Comunicação Pessoal, 1982); MARGOLIS e CAMPOS FILHO (1980); RECK et alii (1981); ELTZ et alii (1980); CASSOL et alii (1980).

QUADRO 6 - TIPO, PROCEDÊNCIA, TEXTURA, ESTRUTURA E PERMEABILIDADE DOS SOLOS ESTUDADOS

TIPO DE SOLO	SÍMBOLO	LOCALIZAÇÃO	MUNICÍPIO	ESTADO	CLASSE TEXTURAL DO HORIZONTE Ap	ESTRUTURA * DO HORIZONTE A	PERMEABILIDADE**
Latossolo Roxo Distrófico com A moderado textura argilosa	LR-PR	Instituto Agronômico do Paraná	Londrina	PR	Argila pesada	Granular fina	Moderada a rápida
Latossolo Roxo	LR-RS	Centro de Treinamento da COTRIJUI	Ijuí	RS	Argila	Granular fina	Moderada a rápida
Latossolo Roxo	LR-SP	Centro Experimental de Campinas	Campinas	SP	Argila	Granular média	Moderada a rápida
Latossolo Vermelho Escuro Distrófico orto - textura média	LVm-PR	Estação Experimental de Paranavaí	Paranavaí	PR	Areia franca	Granular média	Rápida
Latossolo Vermelho Escuro com A proeminente - textura argilosa	LV-PR	Polo Regional de Pesquisa Agropecuária de Ponta Grossa	Ponta Grossa	PR	Argila pesada	Blocos	Moderada a rápida
Latossolo Vermelho Escuro Álico textura argilosa	LV-RS	Centro Nacional de Pesquisa de Trigo	Passo Fundo	RS	Argila	Granular fina	Moderada a rápida
Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico textura média	PVLm-PR	Fazenda Bela Vista	Bela Vista do Paraíso	PR	Franco argilo-arenosa	Blocos	Rápida
Podzólico Vermelho Amarelo orto	PV- PE	Posto Agropecuário do Ministério da Agricultura	Glória de Goitã	PE	Franco argilo-arenosa	Granular fina a média	Devagar a moderada
Podzólico Vermelho Amarelo Cambico Distrófico fase terraço	PV-MG	Área Experimental da U.F. de Viçosa	Viçosa	MG	Argila-arenosa	Blocos	Moderada a rápida
Terra Roxa Estruturada Similar textura argilosa (Laterítico bruno Avermelhando Distrófico)	TRe-RS	Estação Experimental Agronômica da U.F. de Rio Grande do Sul	Guaíba	RS	Franco-argila-arenosa	Blocos	Moderada

FONTE: EMBRAPA

\*Só estão indicadas as características necessárias para a utilização do nomograma de WISCHMEIER et alii. (1971)

\*\*Estimada a partir das características do perfil

FIGURA 1- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS SOLOS ESTUDADOS



Para o solo LR-PR o valor corrigido para as condições padrão é, segundo MONDARDO et alii (1978)<sup>53</sup>, de 0,3750 para as determinações com chuva simulada e de 0,3703 sob condições de chuva natural. Já em trabalho posterior (MONDARDO et alii, 1979), esses autores concluíram que os valores K são ligeiramente diferentes: 0,390 para chuva simulada e 0,373 para chuva natural. Os dados fornecidos por HENKLAIN (1980)<sup>42</sup> para o mesmo solo são de 0,39 para chuva simulada e 0,38 para chuva natural.

Ainda para esse tipo de solo o valor de K apresentados por BISCAIA et alii (1981)<sup>6</sup>, sob condições de chuva natural é de 0,268, porém calculando de forma diferente dos autores anteriores. A partir dos dados fornecidos e utilizando as determinações dos três últimos anos, que apresentam a melhor correlação entre erosividade da chuva e perdas de solo; é possível calcular o fator K da mesma forma que os anteriores, obtem-se um valor de 0,305 para as parcelas de 22m e de 0,340 para as de 11m, resultando um valor médio igual a 0,323.

O valor de K escolhido foi de 0,36 que é média entre os valores mais confiáveis obtidos sob condições de chuva natural (0,39) e simulada (0,32).

Para o solo LV-PR os valores de K, fornecidos por MONDARDO et alii (1978)<sup>53</sup> são de 0,091 para chuva simulada e de 0,074 para chuva natural. HENKLAIN (1980)<sup>42</sup> apresenta os mesmos valores. A partir dos dados apresentados por BISCAIA et alii (1981), é possível calcular os valores de K sob condições de chuva natural, para um período de 3 anos, (1978-79-80), desprezando o primeiro ano das determinações (1977) por apresentar um valor de K desuniforme e baixos coeficientes de correlação. Para as parcelas de 22m se obtém um valor de 0,246 e para as de 11m de 0,189.

Dada a grande diferença entre os valores de K obtidos sob condições de chuva simulada e natural, optou-se pelo resultado alcançado sob chuva natural, cujo valor médio é  $K = 0,22$ , por apresentar boa correlação entre as perdas de solo e erosividade da chuva (HENKLAIN, Comunicação Pessoal, 1982).

Para o solo LVm-PR, MONDARDO et alii (1979)<sup>55</sup> apresentam um valor de  $K = 0,072$  para condições de chuva simulada. MONDARDO et alii (1978)<sup>53</sup> indicam valores de  $K = 0,0867$  para chuva simulada e  $K = 0,0935$  para observações de um ano sob chuva natural. HENKLAIN (1980)<sup>42</sup> forneceu um valor de  $K = 0,44$  para condições de chuva simulada, obtido com a realização de novos ensaios (HENKLAIN, comunicação pessoal, 1982).

O valor escolhido foi  $K = 0,44$ , pois os anteriores são menos confiáveis por serem obtidos com menor número de repetições ou, no caso de chuva natural, um período muito curto. Além disso, como mostram BISCAIA et alii (1981)<sup>6</sup>, os resultados obtidos durante o primeiro ano apresentam valores diferentes dos alcançados nos anos seguintes.

Para o solo LV-RS, WÜNSCHE e DENARDIN (1978)<sup>86</sup> obtiveram um valor de  $K = 0,20$  para as determinações de um ano com chuva natural e de  $K = 0,25$  para um total de 18 repetições, sob condições de chuva simulada. Posteriormente WÜNSCHE (comunicação pessoal, 1982) obteve um valor de 0,21 para um total de 24 repetições. Esse último valor e o obtido para chuva natural são muito próximos, assim foi escolhido o valor médio de  $K = 0,21$ .

Para o solo TRé-RS, CASSOL et alii (1978)<sup>20</sup> obtiveram um valor de  $K = 0,22$  para quatro repetições, sob chuva simulada e, continuando os trabalhos, CASSOL et alii (1980)<sup>21</sup> encontraram um valor de  $K = 0,31$  para um total de dez repetições. ELTZ et alii (1980)<sup>28</sup> obti-

tiveram para o mesmo solo um valor de  $K = 0,33$  sob condições de chuva natural em um período de três anos.

Nesse caso, por serem os valores de  $K$  sob condições de chuva natural e simulada muito próximos, foi utilizado o valor médio igual a  $0,32$ .

Para os solos LR-RS, LR-SP, PVLm-PR, PV-PE e PV-MG só foi mencionado um valor de  $K$ , o qual foi utilizado nas análises.

Outro problema encontrado para a utilização do fator  $K$  dos solos estudados foi a forma divergente de cálculo empregada pelos diversos autores. Baseando-se nos dados disponíveis, tentou-se padronizar essa metodologia.

Existem várias formas para estimar o fator  $K$  sob condições de chuva natural (WISCHMEIER e MANNERING, 1969;<sup>82</sup> BISCAIA et alii, 1981;<sup>6</sup> e MARGOLIS e CAMPOS FILHO, 1980)<sup>50</sup>. Dentre os métodos apresentados para o cálculo do fator  $K$ , o de correlação, sugerido por WISCHMEIER e MANNERING (1969)<sup>82</sup> é, segundo BISCAIA et alii (1981),<sup>6</sup> o que fornece os valores que melhor representam a erodibilidade do solo, com a vantagem de se obter os intervalos de confiança.

No entanto, devido à pouca disponibilidade de dados, optou-se pelo cálculo de  $K$  na sua forma mais direta, considerando as perdas anuais do solo, dividida pelo índice de erosividade total ocorrida no ano.

MARGOLIS e CAMPOS FILHO (1980)<sup>50</sup> calcularam o fator  $K$  estabelecendo uma proporção entre as perdas reais verificadas anualmente com as chuvas ocorridas e aquelas que seriam de se esperar para uma chuva correspondente ao total médio do período.

Com referência às determinações do fator  $K$  sob condições de chuva simulada, foram encontradas na bibliografia duas

formas de calcular esse fator, que fornecem dados substancialmente diferentes. O método mais utilizado pelos diferentes autores (CASSOL et alii 1978;<sup>20</sup> MONDARDO et alii, 1978b,<sup>54</sup> WUNSCH e DENARDIN 1978)<sup>86</sup> consiste na obtenção do fator K dividindo as perdas totais das três chuvas aplicadas em cada teste pelo  $EI_{30}$  total das três chuvas.

O outro método utilizado por RESCK et alii (1981)<sup>64</sup> consiste na obtenção do fator K pela somatória dos fatores de cada chuva aplicada, calculados pela divisão das perdas de cada uma das três chuvas aplicadas pelo  $EI_{30}$  correspondentes a cada chuva. Obtem-se, dessa forma, valores do fator K aproximadamente três vezes maiores que os obtidos pelo primeiro método. CASSOL et alii (1980)<sup>20</sup> justificam a utilização do primeiro método, argumentando que as três chuvas da série aplicada com simulador de chuva não podem ser consideradas isoladamente e sim num contexto único, em que se busca simular as condições mais favoráveis para a ocorrência de erosão hídrica do solo, as quais possam perfeitamente ocorrer em condições naturais, com a finalidade de se determinar valores de erodibilidade do solo que forneçam segurança nas condições mais desfavoráveis possíveis.

Os fatores de K utilizados neste trabalho foram portanto calculados ou recalculados pelo primeiro método.

Não foram considerados, neste trabalho, as possíveis diferenças no valor do fator K decorrentes do preparo das parcelas, formas de amostragem, calibração do simulador, intensidade e espaçamento das chuvas aplicadas; etc. Nos quadros A6 e A7 estão resumidas as principais variáveis na determinação do fator K sob condições de chuva natural e simulada, respectivamente.

Considera-se ainda que todos os dados disponíveis de de-



terminação do fator K sob condições de chuva natural apresentam intervalos de determinação relativamente curtos (1 a 5 anos) enquanto as medições a longo prazo poderão fornecer valores de maior confiabilidade.

## 2.3 AMOSTRAGEM E PRÉ-TRATAMENTO

Para cada solo foi coletada uma amostra correspondente ao horizonte Ap, cerca de 0 a 20 cm. As amostras foram coletadas por diferentes pessoas nas proximidades das parcelas experimentais onde se realizaram as determinações de erodibilidade do solo por métodos diretos. A coleta foi feita com pá e quando o solo apresentava uma umidade variável entre a capacidade de campo e o ponto de murcha, para minimizar o efeito de compressão do solo amostrado. As amostras foram colocadas em recipientes rígidos e enviadas para o laboratório.

No laboratório as amostras foram secas ao ar durante uma semana. Posteriormente foram destorroadas e peneiradas manualmente com peneiras de 7,96 mm e 4mm, resultando duas frações de solo (7,96 - 4mm e < 4mm).

## 2.4 ANÁLISES FÍSICAS

### 2.4.1 Análise Granulométrica

Para as frações silte e argila foi empregado o método do densímetro, segundo BOWELS (1978),<sup>8</sup> com as seguintes modificações: as amostras foram dispersadas com 25 ml de NaOH normal e colocadas no agitador lento, aproximadamente 30 rpm, durante 24 horas. Para o cálculo das diferentes frações foi assumida uma densidade de partículas de 2,65 g/cm<sup>3</sup> e a fração areia foi determinada por peneiramento.

Para a determinação das diferentes frações naturais foi utilizada a classificação do USDA (1951).<sup>73</sup>

#### 2.4.2 Umidade Higroscópica.

A umidade higroscópica foi determinada conforme EMBRAPA (1979).<sup>31</sup>

Para todas as análises foram efetuadas três repetições

#### 2.4.3 Distribuição do Tamanho dos Agregados Estáveis em Água

##### 2.4.3.1 Justificativa da Metodologia Escolhida

Uma das primeiras questões que surgem quando se estuda a agregação ou a estabilidade dos agregados do solo é como medir esse parâmetro, o que implica na conceituação de "agregado".

Segundo KEMPER e CHEPIL (1965),<sup>45</sup> agregado é um grupo de duas ou mais partículas primárias as quais estão unidas entre si mais fortemente que as partículas que as rodeiam. Geralmente todas as partículas de solo tem algum grau de agregação, portanto o rompimento da massa do solo em agregados implica na imposição de uma força de ruptura. Conseqüentemente, o maior fator que determinará a distribuição do tamanho de agregados do solo é a forma pelo qual a massa de solo é rompida em agregados. Assim, para que a determinação da estabilidade de agregados tenha um significado de campo, as forças responsáveis pela desintegração da massa do solo deverão ser forças semelhantes às que atuam no campo.

Dentre os métodos propostos, destacam-se o do hidrômetro de BOUYOUCOS (1929),<sup>7</sup> o de elutriação proposto por BAYER e RHOADES (1932), o peneiramento a seco e peneiramento em água propos-

to por YODER (1936).<sup>87</sup>

O método de BOUYOUCOS (1929)<sup>7</sup> apresenta, como principal inconveniente, a impossibilidade de ser utilizado para agregados maiores de 0,2mm, devido à sua rápida velocidade de sedimentação. O método de elutriação só pode ser aplicada satisfatoriamente a agregados de no máximo 0,5mm, além de possuir outras dificuldades, já apontadas por YODER (1936),<sup>87</sup> como os erros originados nas determinações pela forma variável dos agregados e a turbulência que pode ocorrer no elutriador, sendo além disso, necessário determinar a densidade dos agregados.

O método mais indicado para determinar a estabilidade de agregados parece ser o de peneiramento.

Como o objetivo do trabalho é investigar as relações entre a estabilidade de agregados e a resistência do solo à erosão pela água, o método de determinação mais adequado é, segundo KEMPER (1965),<sup>44</sup> o peneiramento a úmido. Nesse método a forma de umedecimento dos agregados pode ter um grande efeito na sua ruptura. O ar que fica retido nos poros quando o agregado é submerso está entre os fatores mais importantes de desintegração dos agregados (YODER, 1936,<sup>87</sup> KEMPER, 1965,<sup>44</sup>). Esse efeito, contudo pode ser evitado removendo o ar dos poros antes da imersão.

Segundo KEMPER (1965),<sup>44</sup> utilizando o método de imersão direta simulam-se as forças de desintegração encontradas em condições de inundação e erosão laminar, enquanto que para erosão em sulcos é mais adequado o umedecimento a vácuo. Acrescentando que o tipo mais comum de desintegração dos agregados em solos cultivados ocorre na sua maior parte por desagregação ou desmoronamento durante o primeiro umedecimento depois do pre-

paro, verificado sob tensão, razão pela qual esse método seria o mais indicado. No entanto, segundo KEMPER (1965),<sup>44</sup> o umedecimento sob tensão pode ser substituído pelo umedecimento a vácuo, sendo que esse método oferece resultados mais rápidos e com variação menor entre as repetições, além de fornecer resultados altamente correlacionados aos obtidos sob tensão.

Dessa forma, como um dos objetivos do trabalho é estudar a relação da estabilidade de agregados com a erodibilidade e outras propriedades do solo, optou-se por determinar a estabilidade de agregados a úmido com imersão direta e com imersão a vácuo.

#### 2.4.3.2 Procedimento

A metodologia para a determinação da distribuição do tamanho de agregados estáveis em água foi realizada segundo as recomendações de KEMPER (1965)<sup>44</sup> e KEMPER e CHEPIL (1965),<sup>45</sup> com as seguintes modificações devidas ao instrumento disponível e às condições do laboratório:

a) Distribuição do Tamanho de Agregados Estáveis em Água Determinada com Imersão Direta.

- i) foram utilizadas peneiras de 4mm, 2mm, 1mm e 0,25mm de abertura, colocando anéis da altura da peneira para evitar que os agregados ficassem apoiados sobre as bordas do fundo da peneira;
- ii) utilizou-se água desionizada, com uma condutividade  $\leq 1 \mu \text{ ohm}$ , variando sua temperatura nas diferentes determinações, entre 18,5°C e 24°C;

- iii) o tempo de imersão foi de 10 minutos;
  - iv) o tempo de peneiramento foi de 10 minutos, utilizando-se um peneirador mecânico com 38 ciclos por minuto e um deslocamento vertical de 38 mm;
  - v) para realizar a correção por areia, o material retido em cada peneira, foi transferido em uma solução de 25 ml de NaOH, 1 normal e 100 ml de água desionizada e agitado em um agitador rápido ( $\approx 10000$  rpm) durante 15 minutos; e posteriormente, peneirado, com ajuda de um jato de água, na peneira correspondente;
- b) Distribuição do Tamanho de Agregados Estáveis em Água Determinada com Imersão a Vácuo

- i) as amostras foram colocadas em placas de Petri no fundo de uma câmara de vácuo utilizando como câmara de vácuo uma panela de pressão com as válvulas e rolhas invertidas;
- ii) foi aplicado um vácuo de 600 mm de Hg  $\pm$  20 mm durante 30 minutos;
- iii) após esse período deixou-se entrar, pela parte inferior da panela, água desionizada e deaerada até cobrir totalmente as amostras; e posteriormente;
- iv) as amostras foram levadas a pressão atmosférica;
- v) as amostras foram transferidas das placas de Petri para as peneiras previamente submergidas, permanecendo os agregados sempre submer-

sos e, uma vez umidecidos, o único distúrbio que sofreram foi a passagem, sob água da placa de Petri para a peneira;

vi) o tempo de imersão foi de 5 minutos  $\pm$  30 segundos. Essa variabilidade é devido a impossibilidade de observar o momento exato em que as amostras são atingidas pela água, dentro da panela;

vii) a partir do peneiramento, a metodologia utilizada foi a mesma utilizada na determinação por imersão direta.

#### 2.4.3.3 Representação da Agregação e/ou Estabilidade dos Agregados do Solo

Para representar a agregação do solo e a estabilidade de agregados muitas formas tem sido propostas e utilizadas. Algumas comportam a utilização de uma determinada fração ou diâmetro de agregados (TIULIN, 1932, citado por BROWNING et alii, 1944<sup>7</sup>; RUSSEL e FENG, 1947<sup>67</sup>; WILSON e BROWNING, 1946<sup>80</sup>; BRYANT et alii, 1948<sup>19</sup>), outras são mais complexas e envolvem diversas frações de tamanhos de agregados (PURI e PURI, 1939<sup>61</sup>; ALDERFER e MERKLE, 1941<sup>1</sup>, RETZEL e RUSSEL, 1941<sup>65</sup>, VAN BAVEL, 1949<sup>74</sup>, MAZURAK, 1950<sup>51</sup>).

O emprego de um ou outro índice é justificado ou criticado por diversos autores (BROWNING et alii, 1944<sup>7</sup>; WILSON e BROWNING, 1946<sup>80</sup>, SCHALLER e STOCKINGER, 1953<sup>68</sup>; GARDNER, 1956<sup>39</sup>; CONAWAY e STRICKLING, 1962<sup>23</sup>; KEMPER e CHEPIL, 1965<sup>45</sup>).

Com base nesses antecedentes foram escolhidas seis formas de representar agregados, quatro obtidas por somatória sim-

ples das frações (agregados > 4mm, > 2mm, > 1mm e > 0,25mm) e duas formas que envolvem todas as frações (DMP e DMG), com o objetivo de observar a correlação de cada uma delas com as diversas características do solo e também de correlacioná-las entre si para verificar a necessidade ou não de trabalhar com formas mais complexas de representação da estabilidade dos agregados.

O DMP e DMG foram calculados de acordo com as fórmulas 15 e 16, propostas por KEMPER e CHEPIL (1965).<sup>45</sup>

#### 2.4.3.4 Coeficiente de Variação entre as Repetições

A estabilidade dos agregados foi caracterizada pela média de três repetições. KEMPER e CHEPIL (1965)<sup>45</sup> indicaram que para o DMP uma variação entre as repetições menor a 7% é satisfatória dentro da metodologia por eles proposta. Como nas determinações da estabilidade de agregados foram admitidas variações de alguns parâmetros, como por exemplo temperatura da água, mais amplas que as sugeridas por KEMPER e CHEPIL (1965)<sup>45</sup>; foi estabelecido um coeficiente de variação do DMP ligeiramente superior, igual a 8%.

#### 2.4.4 Resistência dos agregados ao Impacto da Gota

##### 2.4.4.1 Justificativa da Metodologia

Outra linha adotada para o estudo da estabilidade de agregados é a determinação da resistência dos agregados ao impacto da gota idealizado por McCALLA (1944)<sup>52</sup> e utilizado e modificado por SMITH e CERNUDA (1951)<sup>69</sup>. Segundo BRYAN (1968)<sup>8</sup>,

este método pode fornecer um índice de erodibilidade mais eficiente que o derivado das determinações de estabilidade por peneiramento a úmido.

O teste foi baseado nessas idéias e no material disponível. O tamanho dos agregados escolhidos para o teste ( $<7,96$  e  $>7\text{mm}$ ) foi determinado pela disponibilidade. Estes agregados determinam a necessidade de utilizar gotas pequenas para que eles absorvesse totalmente o impacto da gota. A frequência de gotas foi selecionada de maneira a diminuir o tempo do teste e permitir a contagem das gotas. A altura de queda foi determinada arbitrariamente, pois não existem variações significativas do número de gotas aplicados a diferentes alturas para destruir os agregados (McCALLA, 1944).<sup>52</sup>

#### 2.4.4.2 Procedimento

O aparelho utilizado para a produção das gotas está esquematizado na figura 2. Consta de um recipiente com entrada e saída de água, que é mantida em nível constante por intermédio de um estabilizador de nível. As gotas de  $3,6\text{mm}$  de diâmetro são produzidas por uma agulha hipodérmica  $40 \times 16$  com arame de cobre de aproximadamente  $1\text{mm}$  de diâmetro introduzindo  $6\text{mm}$  na parte superior da agulha para restringir a vazão e possibilitar a formação de gotas. A agulha é conectada ao recipiente com nível constante e um tubo de vidro protege a gota de possíveis desvios de sua trajetória por correntes de ar.

O procedimento para determinação da resistência dos agregados ao impacto da gota foi o seguinte:

- a) foram utilizados agregados  $>7\text{mm}$  e  $<7,96\text{mm}$  de diâmetro;



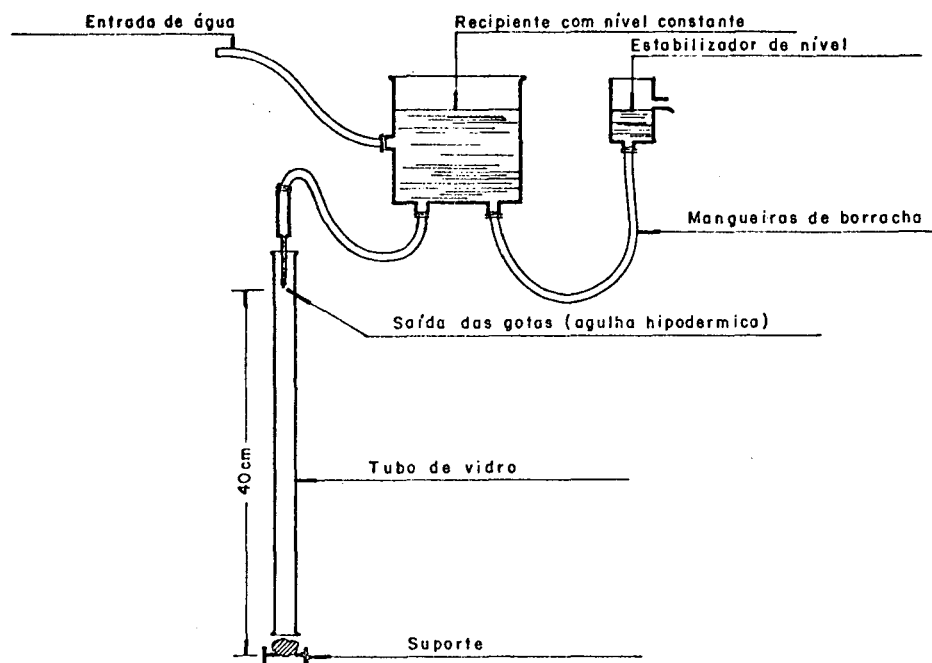


FIGURA 2-ESQUEMA DO APARELHO UTILIZADO PARA O TESTE DE RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA

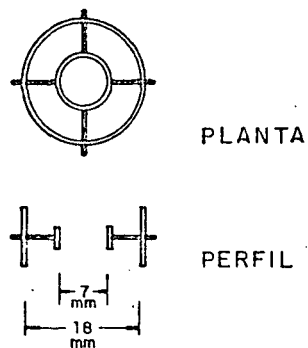


FIGURA 3 - SUPORTE DE AGREGADO UTILIZADO NO TESTE DE RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA.

OBS: O SUPORTE É CONFECCIONADO COM MANGUEIRA PLÁSTICA E ALFINETES.

- b) colocados em um suporte como o que mostra a figura 3;
- c) os agregados secos ao ar foram submersos durante 30 minutos em água desionizada à temperatura ambiente (20°C a 22°C);
- d) retirados cuidadosamente de água submetidos imediatamente ao impacto de gotas de 3,6mm de diâmetro (0,025 gr), com uma altura de queda de 40 cm e uma frequência de 2 gotas/seg;
- e) considerou-se o agregado destruído quando todo o material passou através do anel interno do suporte.

A grande variabilidade das determinações para um mesmo solo, verificada nos pré-testes, mostrou a necessidade de que em cada determinação fossem incluídos vários agregados, sendo escolhido um número de dez agregados para cada teste.

#### 2.4.4.3 Representação

O método utilizado de dez determinações para cada repetição tornou necessário a elaboração de um índice que representasse a resistência dos agregados em conjunto. Optou-se pela somatória do número de gotas que cada agregado resistiu dividido pelo número total de gotas nas condições estabelecidas no teste (300 gotas para cada agregado) e multiplicada por 100. O valor assim obtido foi denominado coeficiente de resistência ao impacto da gota (G), e pode ser expresso da seguinte forma:

$$(17) \quad G = 100 \frac{\sum_{i=1}^{10} g}{10gt}$$

onde:

g= número de gotas que resistiu cada agregado;

gt= número total de gotas estabelecidas no teste (300).

O coeficiente de resistência ao impacto pode assumir valores entre 0 e 100.

## 2.5 ANÁLISES QUÍMICAS

As análises químicas efetuadas segundo a metodologia indicada por VETTORI (1969)<sup>76</sup>, foram as seguintes:

- a) Teor do carbono orgânico (%); obtido por via úmida, através da oxidação da matéria orgânica com bicromato de potássio 0,4N, segundo método Tiurin. Para calcular a matéria orgânica, multiplicou-se o teor carbono pelo fator 1,724;
- b) pH (H<sub>2</sub>O): determinado potenciometricamente, na relação solo: água de 1: 2,5, usando-se eletrodo de vidro;
- c) pH (KCl) - determinado potenciometricamente, na relação solo: KCl de 1:1, usando-se eletrodo de vidro;
- d) Cálcio + Magnésio trocáveis (meq/100 ml solo), - extraído por solução 1N de KCl na proporção de 10ml de solo para 100 ml de extrator, agitando durante 5 minutos e deixando em repouso 12 horas. Uma alíquota de 25ml é retirada, determinando-se em conjunto por titulação complexométrica, utilizando-se EDTA 0,025N e o Negro de Ericromo T como indicador.
- e) Alumínio trocável (meq/100 ml solo) - da mesma extração feita para o Ca + Mg retira-se uma alíquota de 25 ml e titula-se com solução 0,025 N de NaOH, empregando-se como indicador o Azul de Bromotimol.
- f) Hidrogênio trocável (meq/100 ml solo) é determinado usando-se como extrator acetato de cálcio (pH 7), agi-

- tando-se e deixando em repouso. A titulação foi realizada utilizando como indicador a fenolftaleína 6%;
- g) Potássio trocável (ppm), extraído por solução sulfoclorídrica ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,025N + HCl 0,05N), na proporção de 10 ml de solo para 100 ml de extrator, agitou-se durante 5 minutos e deixou-se em repouso 24 horas. Pipetaram-se mais ou menos 25 ml da solução, fazendo-se a determinação por fotometria de chama;
- h) Fósforo assimilável (ppm) - pipeta-se uma alíquota de 5 ml da solução empregada para o Potássio, acrescentam-se 10 ml de reativo sulfomolibdico, empregando-se como reator a frio o ácido L-ascórbico. Após uma hora faz-se a determinação fotocolorimetricamente através da formação de azul de Mo.

## 2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram analisados no Centro de Computação Eletrônica da UFPR, utilizando o Pacote Estatístico para Ciências Sociais, sendo calculados os coeficientes de correlação linear simples entre as variáveis estudadas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA

##### 3.1.1 Considerações Sobre os Testes de Estabilidade dos Agregados em Água

O número de repetições que foram necessárias para se obter um coeficiente de variação para o DMP de 8%, conforme citado na metodologia, é apresentado na tabela 1.

Nas determinações de estabilidade de agregados com imersão direta foram necessárias, em média, 4,1 repetições para obtenção de um coeficiente de variação menor que 8%, sendo que para um dos solos foi necessário sete repetições. Nas determinações realizadas com imersão a vácuo foram necessárias em média 3,4 repetições e o número máximo de 5 repetições. Esses resultados e os coeficientes de variação evidenciam menor variabilidade dos testes realizados com imersão a vácuo.

Com relação ao tempo de armazenamento, KEMPER (1965)<sup>44</sup> sugere que os testes de determinação da estabilidade de agregados devem ser feitos tão rapidamente quanto possível após dessecação a amostra, porque existe uma tendência da estabilidade aumentar com o tempo de armazenamento.

O tempo de armazenamento dos solos estudados, após dessecadas as amostras, na primeira repetição variou entre uma e duas semanas. As repetições sucessivas para um mesmo solo foram realizadas em intervalos variáveis de um dia a dez meses, sobretudo

TABELA 1 - VARIABILIDADE DO DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO (DMP), NA DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

DETERMI- NAÇÃO	SOLO	NÚMERO DE REPETIÇÕES	TODAS AS REPETIÇÕES			TRÊS REPETIÇÕES MAIS PRÓXIMAS		
			$\bar{x}$ (mm)	Sn-1	C.V %	$\bar{x}$ (mm)	Sn-1	C.V %
Com Imersão Direta	LR-PR	4	1,53	0,13	8,62	1,47	0,05	3,07
	LR-RS	3	2,10	0,08	3,60	2,10	0,08	3,60
	LR-SP	6	3,38	0,63	16,13	4,09	0,29	7,02
	LVM-PR	3	1,94	0,06	2,84	1,94	0,06	2,84
	LV-PR	3	3,39	0,09	2,72	3,39	0,09	2,72
	LV-RS	7	4,44	0,75	16,89	4,41	0,12	2,80
	PVLM-PR	4	0,94	0,15	15,83	0,86	0,01	1,16
	PV-PE	3	4,00	0,25	6,23	4,00	0,25	6,23
	PV-MG	5	4,43	1,45	32,71	5,23	0,21	4,05
	TRe-RS	3	1,73	0,12	6,94	1,73	0,12	6,94
	Média	4,1			11,25			4,04
Com Imersão a Vácuo	LR-PR	4	2,40	0,20	8,27	2,49	0,03	1,16
	LR-RS	3	3,77	0,13	3,32	3,77	0,13	3,32
	LR-SP	3	5,73	0,06	1,09	5,73	0,06	1,09
	LVM-PR	3	3,41	0,21	6,28	3,41	0,21	6,28
	LV-PR	3	5,18	0,29	5,63	5,18	0,29	5,63
	LV-RS	3	5,09	0,13	2,64	5,09	0,13	2,64
	PVLM-PR	5	3,27	0,83	25,23	3,85	0,30	7,85
	PV-PE	3	5,06	0,13	2,49	5,06	0,13	2,49
	PV-MG	3	5,64	0,10	1,85	5,64	0,10	1,85
	TRe-RS	4	4,35	0,57	13,22	4,61	0,29	6,21
	Média	3,4			7,00			3,85

OBS:  $\bar{x}$  = Média

Sn-1 = Desvio Padrão

C.V. = Coeficiente de variação

para aqueles solos que requereram um maior número de repetições (tabela A.1). Correlacionando-se as datas das realização dos testes com o valor do DMP nota-se que em sete solos (LR-PR, LR-RS, LVm-PR, LV-PR, PV-PE, PV-MG e TRe-RS) não é visível um aumento da estabilidade dos agregados com o tempo de armazenamento; no LR-SP as três determinações realizadas no mês de novembro de 1981, com imersão direta, forneceram um valor médio do DMP de 3,37, enquanto que as determinações de março de 1982 tem um valor médio de 4,39. No solo LV-RS observa-se um comportamento semelhante nas determinações com imersão direta. As duas repetições do mês de agosto de 1981 tem uma média de 3,57, uma determinação do mês de setembro tem um DMP igual a 4,27 e as quatro repetições efetuadas em março de 1982 possuem um valor médio de 4,93. Por último, o solo PVLm-PR, nas determinações a vácuo apresenta um valor médio de DMP igual a 2,40 para as determinações do mês de junho de 1981, de 3,51 para o teste do mês de setembro e de 4,03 para as duas repetições do mês de março de 1982. Esses resultados permitem concluir que a maioria dos solos estudados não apresenta aumento na estabilidade de agregados com o tempo de armazenamento e que naqueles três solos em que, ocorreu o aumento foi verificado nos testes realizados um mês, ou mais após a primeira determinação.

### 3.1.2 Correlação entre as Diferentes Formas de Representar a Estabilidade dos Agregados

Os resultados das análises de estabilidade dos agregados em água, com imersão direta e a vácuo estão nas tabelas 2 e A2, representadas por seis parâmetros: Diâmetro Médio Ponde-

TABELA 2 - ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA

DETERMINAÇÃO	SOLO	DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO (mm)			DIÂMETRO MÉDIO GEOMÉTRICO (mm)			AGREGADOS > 4mm (%)			AGREGADOS > 2mm (%)			AGREGADOS > 1mm (%)			AGREGADOS > 0,25mm (%)		
		Média $\bar{x}$	Desvio Padrão $\sigma_{n-1}$	Coeficiente de Variação CV%	Média $\bar{x}$	Desvio Padrão $\sigma_{n-1}$	Coeficiente de Variação CV%	Média $\bar{x}$	Desvio Padrão $\sigma_{n-1}$	Coeficiente de Variação CV%	Média $\bar{x}$	Desvio Padrão $\sigma_{n-1}$	Coeficiente de Variação CV%	Média $\bar{x}$	Desvio Padrão $\sigma_{n-1}$	Coeficiente de Variação CV%	Média $\bar{x}$	Desvio Padrão $\sigma_{n-1}$	Coeficiente de Variação CV%
Com Imersão Direta	LR-PR	1,47	0,05	3,07	0,84	0,05	5,39	10,17	1,25	12,33	21,02	1,50	7,12	35,02	0,68	1,95	84,03	4,15	4,94
	LR-RS	2,10	0,08	3,60	1,10	0,03	2,91	25,25	1,79	7,09	32,22	0,98	3,04	41,20	0,32	0,78	77,72	0,91	1,18
	LR-SP	4,09	0,29	7,02	3,06	0,30	9,82	58,20	6,32	10,87	70,99	4,64	6,53	80,12	2,54	3,17	92,35	0,95	1,03
	LVm-PR	1,94	0,06	2,84	1,36	0,03	1,85	26,74	1,16	4,33	32,86	0,75	2,28	36,09	0,99	2,74	50,25	0,56	1,11
	LV-PR	3,39	0,09	2,72	2,11	0,08	3,61	44,07	2,60	5,90	58,67	2,08	3,54	69,51	2,03	2,93	92,49	0,58	0,63
	LV-RS	4,41	0,12	2,80	3,06	0,18	5,86	66,87	1,69	2,53	76,64	3,35	4,37	79,59	2,35	2,95	88,34	1,26	1,43
	PVLm-PR	0,86	0,01	1,16	0,77	0,01	0,75	08,20	1,36	16,61	11,98	0,58	4,82	16,23	0,89	5,48	40,38	3,03	7,50
	PV-PE	4,00	0,25	6,23	3,00	0,20	6,70	63,46	3,83	6,04	67,82	4,07	6,01	69,94	4,74	6,78	74,63	5,15	6,90
	PV-MG	5,23	0,21	4,05	4,40	0,25	5,71	84,04	5,18	6,16	89,18	2,74	3,07	90,54	1,77	1,96	92,47	0,48	0,52
Com Imersão a Vácuo	TRe-RS	1,73	0,12	6,94	1,07	0,07	6,24	22,74	1,85	8,13	27,99	2,23	7,95	32,65	2,25	6,90	51,79	3,01	5,81
	LR-PR	2,49	0,03	1,16	1,46	0,04	2,60	27,15	1,25	4,62	40,81	1,19	2,92	55,16	2,04	3,70	92,33	0,26	0,28
	LR-RS	3,77	0,13	3,32	2,49	0,12	4,63	53,77	2,79	5,20	63,48	1,66	2,61	71,29	1,19	1,68	91,93	0,76	0,82
	LR-SP	5,73	0,06	1,09	5,45	0,11	2,01	93,83	1,48	1,58	96,34	0,82	0,85	97,45	0,56	0,57	98,75	0,21	0,22
	LVm-PR	3,41	0,21	6,28	2,40	0,27	11,42	51,94	3,93	7,58	58,63	4,85	8,28	60,56	4,02	6,63	68,61	3,19	4,65
	LV-PR	5,18	0,29	5,63	4,35	0,54	12,31	80,95	6,30	7,78	89,04	4,49	5,04	91,66	3,41	3,72	96,01	1,87	1,95
	LV-RS	5,09	0,13	2,64	4,20	0,20	4,67	79,98	3,62	4,53	87,63	1,02	1,16	89,66	0,94	1,04	94,71	0,95	1,00
	PLVm-PR	3,85	0,30	7,85	2,65	0,29	10,98	58,81	5,97	10,14	65,09	4,87	7,48	68,59	4,28	6,24	80,97	2,87	3,55
	PV-PE	5,06	0,13	2,49	4,33	0,21	4,74	82,20	2,50	3,04	84,96	2,04	2,40	86,41	1,81	2,09	90,06	1,07	1,19
	PV-MG	5,64	0,10	1,85	5,31	0,18	3,32	91,58	2,64	2,89	95,69	1,23	1,28	96,52	0,95	0,98	97,86	0,31	0,32
	TRe-RS	4,61	0,29	6,21	3,62	0,39	10,66	72,39	5,52	7,63	77,73	4,61	5,92	81,36	4,12	5,06	89,11	2,90	3,26



rado (DMP); Diâmetro Médio Geométrico (DMG); Agregados > 4 mm, Agregados >2mm, Agregados >1mm e Agregados >0,25mm.

O objetivo da correlação entre as diferentes formas de representar a estabilidade dos agregados é tentar verificar quais as relações existentes entre as formas complexas de representá-la, que envolvem a determinação das várias frações, e as formas simples representadas por uma só fração.

Para realizar as correlações foram utilizadas vinte médias, dez com imersão direta e dez com imersão a vácuo, de três repetições cada uma. Os coeficientes obtidos (tabela A.3) foram todos significativos ao nível de 1%.

Entre o DMP e os agregados >4mm, >2mm e >1mm, (gráfico 1 a, b, c) os coeficientes de correlação foram muito altos (0,9934\*\*, 0,9989\*\* e 0,9887,\*\* respectivamente). Os coeficientes de correlação linear entre os diversos tamanhos de agregados com o DMG foram mais baixos (tabela A.3). No entanto, quando a correlação é realizada entre estes e o logarítmo do DMG, os valores aumentam, alcançando valores semelhantes aos da correlação linear e do DMP, (gráfico 1 e, f, g). Isto pode ser explicado porque o cálculo do DMG envolve um fator logarítmico. O coeficiente de correlação entre o DMP e o logarítmo do DMG foi de 0,9936\*\* (gráfico 1i). Também os coeficientes de correlação entre os agregados >4mm, >2mm e >1mm foram muito altos (tabela A.3). Estes resultados indicam que, para os solos estudados, a estabilidade de agregados poderia ser representada apenas por uma determinada fração de agregados. A fração que apresentou melhor correlação com o DMP e o logarítmo DMG foi a dos agregados > 2 mm, seguida das dos agregados > 4 mm e agregados >1 mm.

Os agregados >0,25mm apresentaram uma correlação menor

GRÁFICO 1 - CORRELAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES FORMAS DE REPRESENTAR ESTABILIDADE DOS AGREGADOS.

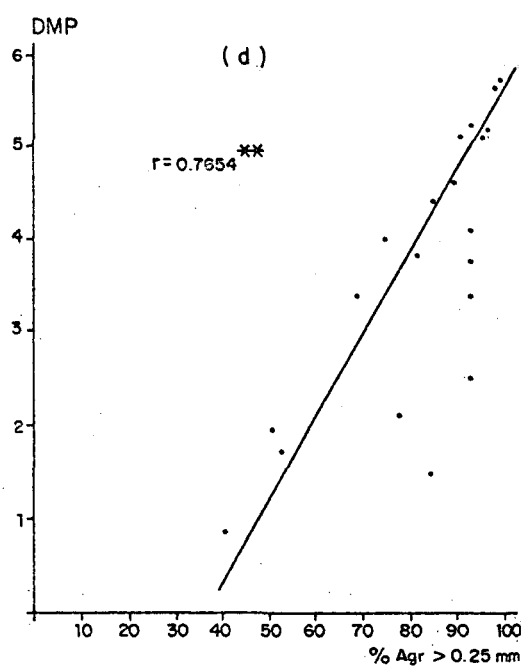
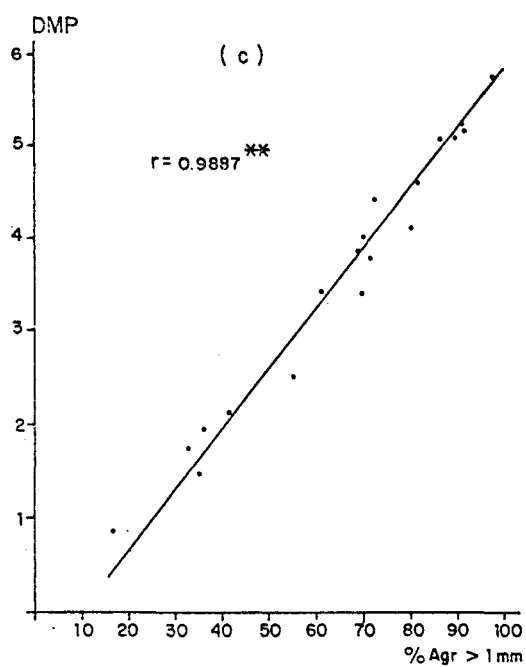
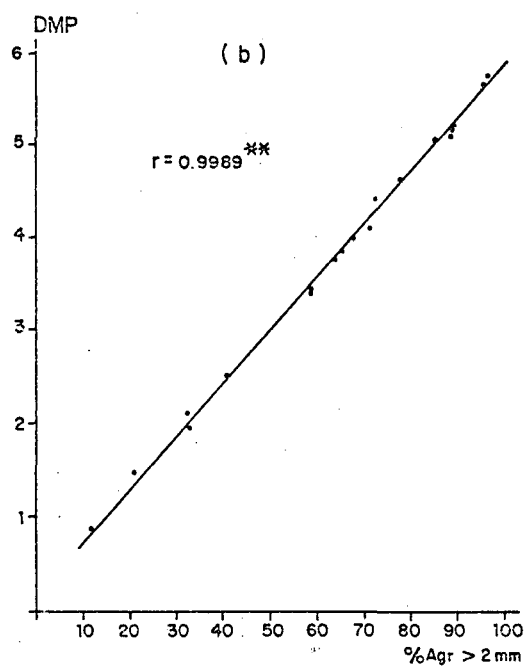
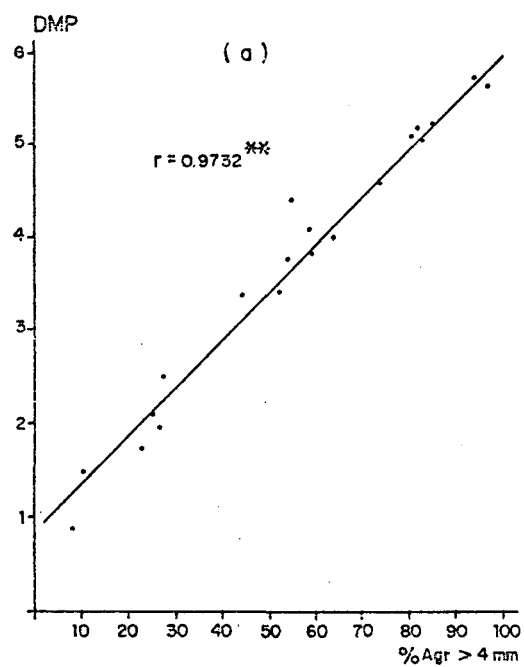


GRÁFICO 1- CORRELAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES FORMAS DE REPRESENTAR ESTABILIDADE DOS AGREGADOS.

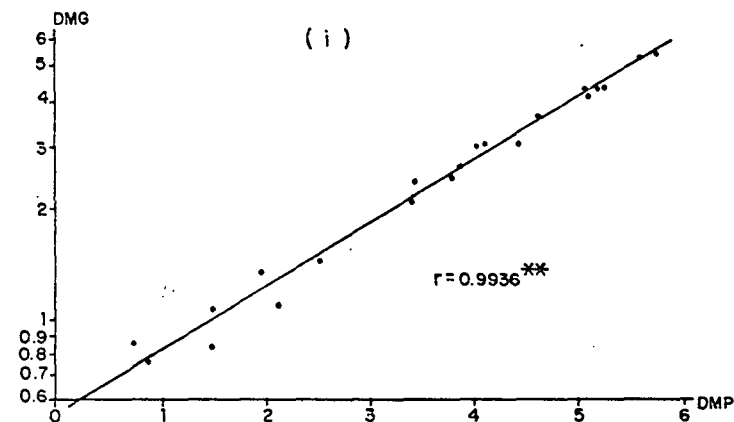
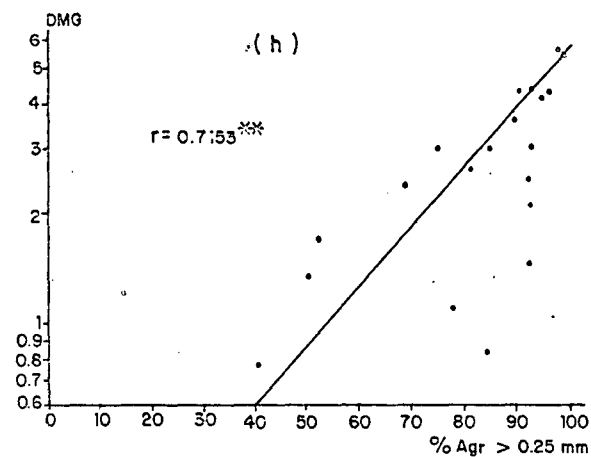
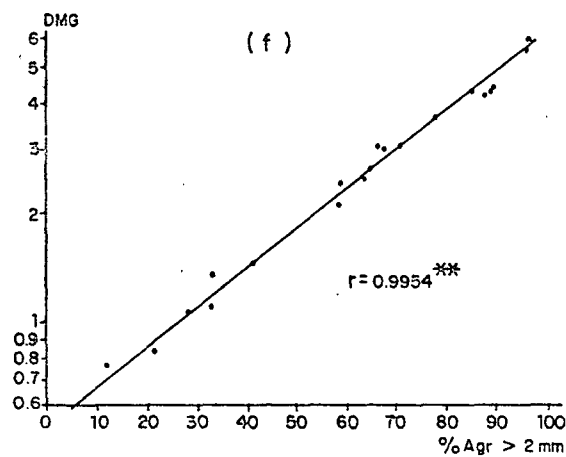
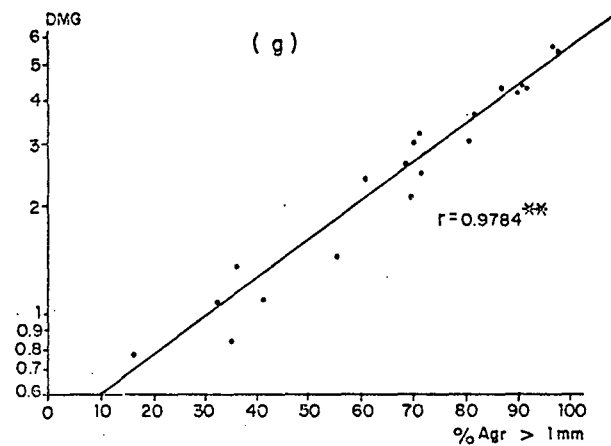
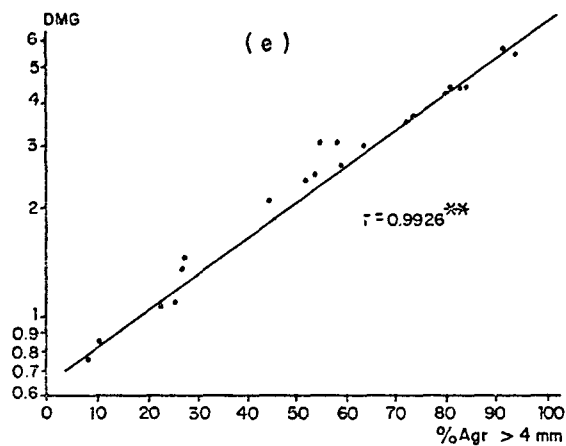
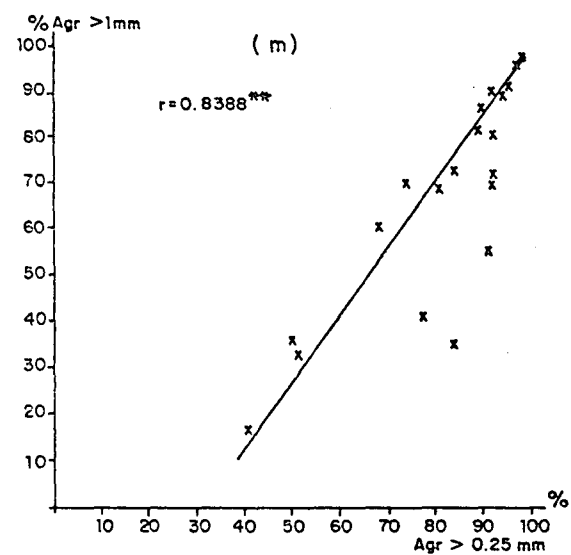
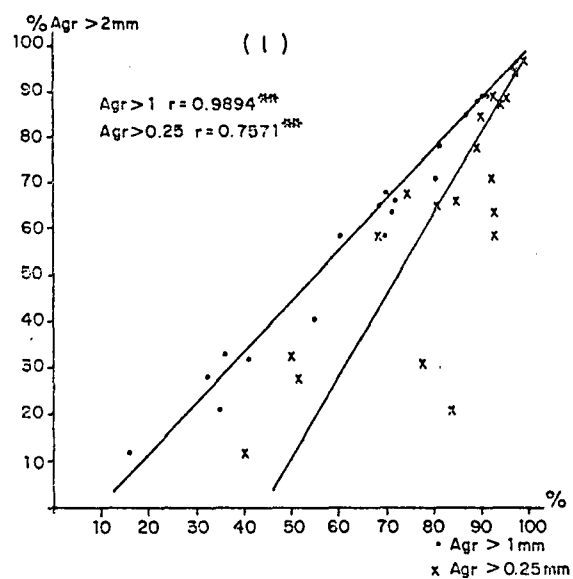
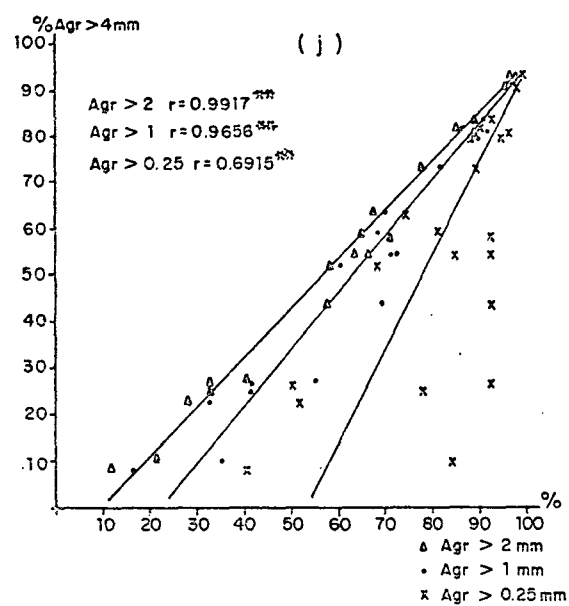


GRÁFICO 1- CORRELAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES FORMAS DE REPRESENTAR ESTABILIDADE DOS AGREGADOS.



com as outras formas de representação, com coeficientes entre 0,6915\*\* e 0,8388\*\* (gráfico 1d, h, j, h, m).

Os coeficientes de correlação obtidos por CONAWAY e STRICKLING (1962)<sup>23</sup> para o DMP, DMG e agregados >2mm, >1mm e >0,25mm são algo inferiores aos apresentados. A melhor correlação encontrada por esses autores foi entre o DMP e agregados > 2 mm e > 1 mm.

Os coeficientes de variação (CV) médios (tabela 3) indicam uma menor variação entre as repetições dos agregados >0,25mm, seguido dos agregados >1mm, DMP e agregados >2mm. No entanto, observando os CV máximos, os agregados >1mm apresentam a menor variação, seguida do DMP, agregados >0,25mm e >2mm. A pequena variação dos valores médios do CV dos agregados >0,25mm é explicado pelas altas porcentagens desse componente na maioria dos solos (tabela 2). Os CV máximos obtidos são similares para o DMP, agregados >2mm, >1mm e >0,25, enquanto que CONAWAY e STRICKLING (1962)<sup>23</sup> obtiveram resultados sensivelmente diferentes, onde a variabilidade das frações de agregados >2mm e > 1 mm foi maior que os do DMP e DMG.

TABELA 3 - COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS DIFERENTES FORMAS DE REPRESENTAR A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

PARÂMETROS	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (%)		
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIO
DMP	1,09	7,85	3,95
DMG	0,75	11,42	5,81
Agregados > 4 mm	1,58	16,61	6,75
Agregados > 2 mm	0,85	8,28	4,33
Agregados > 1 mm	0,57	6,90	3,37
Agregados > 0,25 mm	0,22	7,50	2,41

A análise conjunta dos coeficientes de correlação e dos CV indicam que os agregados >2mm podem ser utilizados para determinar a estabilidade de agregados tão bem quanto o DMP e o DMG, os quais implicam na determinação de várias frações e cálculos mais complicados. Os altos coeficientes de correlação e os CV similares indicam que não são necessárias mais repetições para se obter a mesma precisão. Os agregados > 1 mm apresentam as mesmas características que os agregados >2mm, com coeficientes de correlação ligeiramente inferiores e uma menor variabilidade. Os agregados 4mm, embora apresentem uma alta correlação, possuem maior variabilidade, portanto necessitando de mais repetições para obter a mesma precisão das frações menores, ou DMP e DMG. Os agregados >0,25mm apresentaram os coeficientes de correlação mais baixos quando comparados às outras formas de representar a estabilidade dos agregados, resultando um parâmetro que caracteriza a estabilidade de agregados de um solo de forma diferente das restantes.

### 3.1.3 Correlação entre a Estabilidade dos Agregados Determinada com Imersão Direta e a Vácuo

Os coeficientes de correlação entre a estabilidade dos agregados determinada através de imersão direta e a vácuo estão relacionados na tabela 4.

TABELA 4 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS DETERMINADA ATRAVÉS DE IMERSÃO DIRETA E A VÁCUO

PARÂMETROS		COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO
DMP		0,8257**
DMG		0,8658**
Agregados	>4mm	0,8278**
Agregados	>2mm	0,8449**
Agregados	>1mm	0,8439**
Agregados	>0,25mm	0,8302**

Os coeficientes apresentam valores muito semelhantes nas diferentes formas de representar a estabilidade dos agregados, visto que os gráficos possuem uma configuração muito similar, indicando que todos eles mostram de forma semelhante as diferenças na agregação provocadas pelos tratamentos (gráfico 2). Essas diferenças devem ser atribuídas ao efeito do ar retido nos poros na imersão à pressão atmosférica e que é eliminado nas determinações a vácuo.

Nas curvas de frequência acumulada dos agregados estáveis (gráfico A.1) e nos histogramas (gráfico 3) observa-se que os solos mais sensíveis à ruptura dos agregados pelo efeito do ar retido nos poros foram o PVLm-PR e TRe-RS (gráficos 3 g,j), nos quais os agregados estáveis >4mm passaram de 8% a 58% e de 23% a 73% respectivamente, implicando que 50% do total dos agregados tiveram um comportamento diferente devido ao seu tratamento.

Os solos com alta estabilidade de agregados como LV-RS, PV-PE e PV-MG, (gráficos 3f,h,i), apresentaram uma diferença menor entre os tratamentos. A variação na estabilidade dos agregados > 4 mm foi de 7% a 18%. Os solos LR-RS, LR-SP, LVm-PR e LV-PR (gráficos 3b, c, d, e), apresentaram um comportamento intermediário entre os dois grupos mencionados, nos quais a variação de agregados estáveis > 4 mm foi de 25% a 37%.

O solo LR-PR (gráfico 3 a) apresenta um comportamento particular; apesar de possuir uma percentagem muito baixa de agregados estáveis >4mm nas determinações com imersão direta (10%), possui também uma baixa estabilidade no tratamento sob vácuo (27%). Isso indica que existe uma pequena participação do efeito do ar retido nos poros no sentido de explicar a grande instabilidade dos agregados > 4mm desse solo. Salienta-se ainda o

GRÁFICO 2 - CORRELAÇÃO ENTRE AS DETERMINAÇÕES DE ESTABILIDADE DOS AGREGADOS ATRAVÉS DE IMERSÃO DIRETA E A VÁCUO .

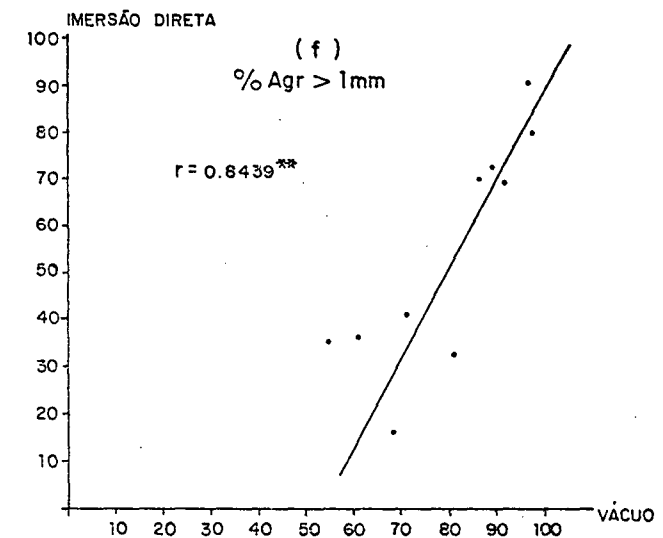
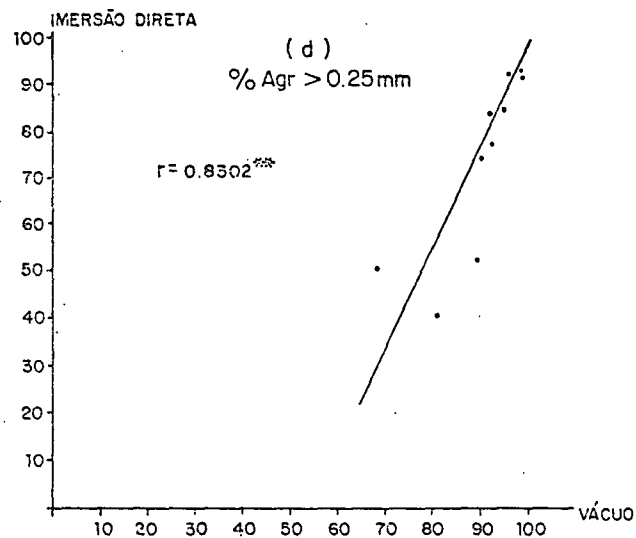
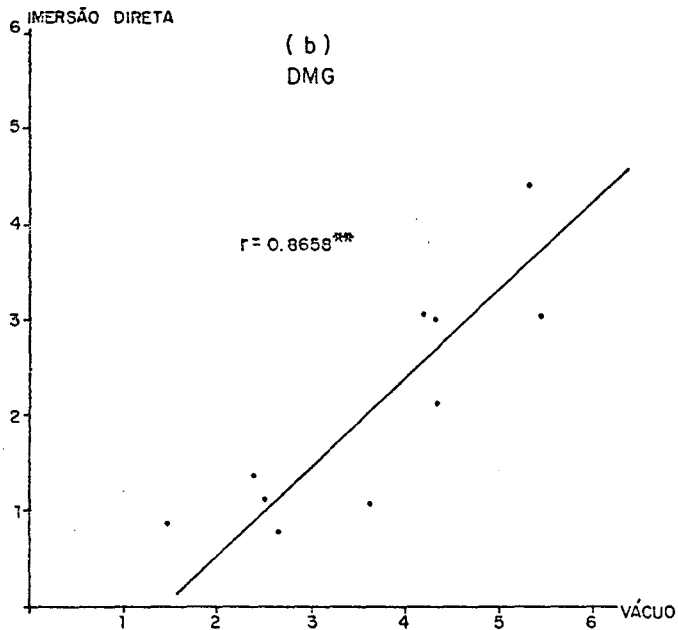
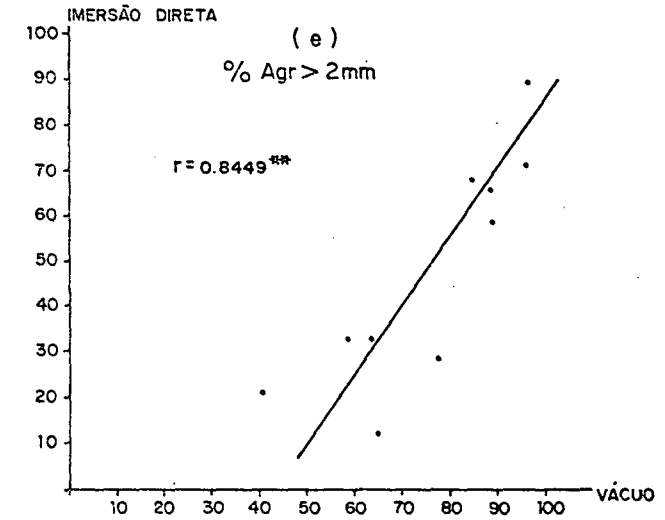
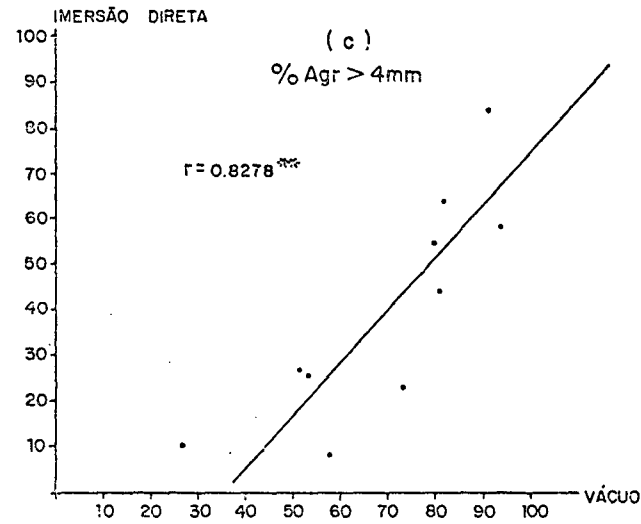
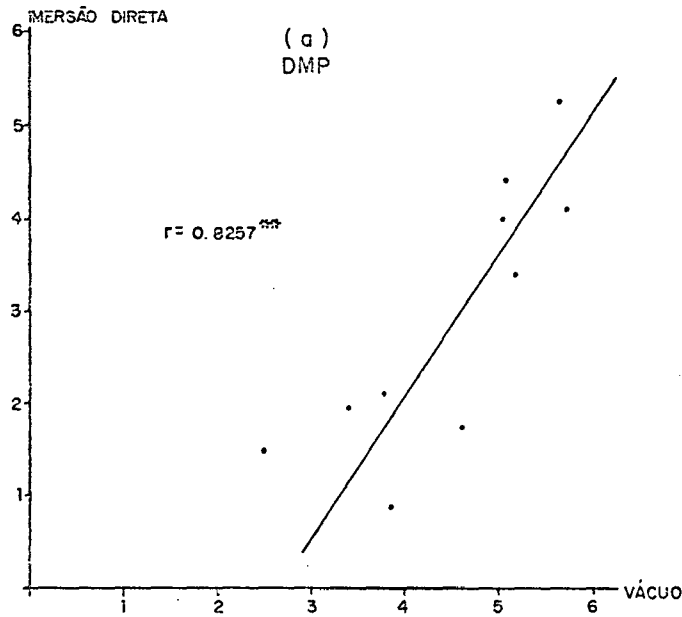
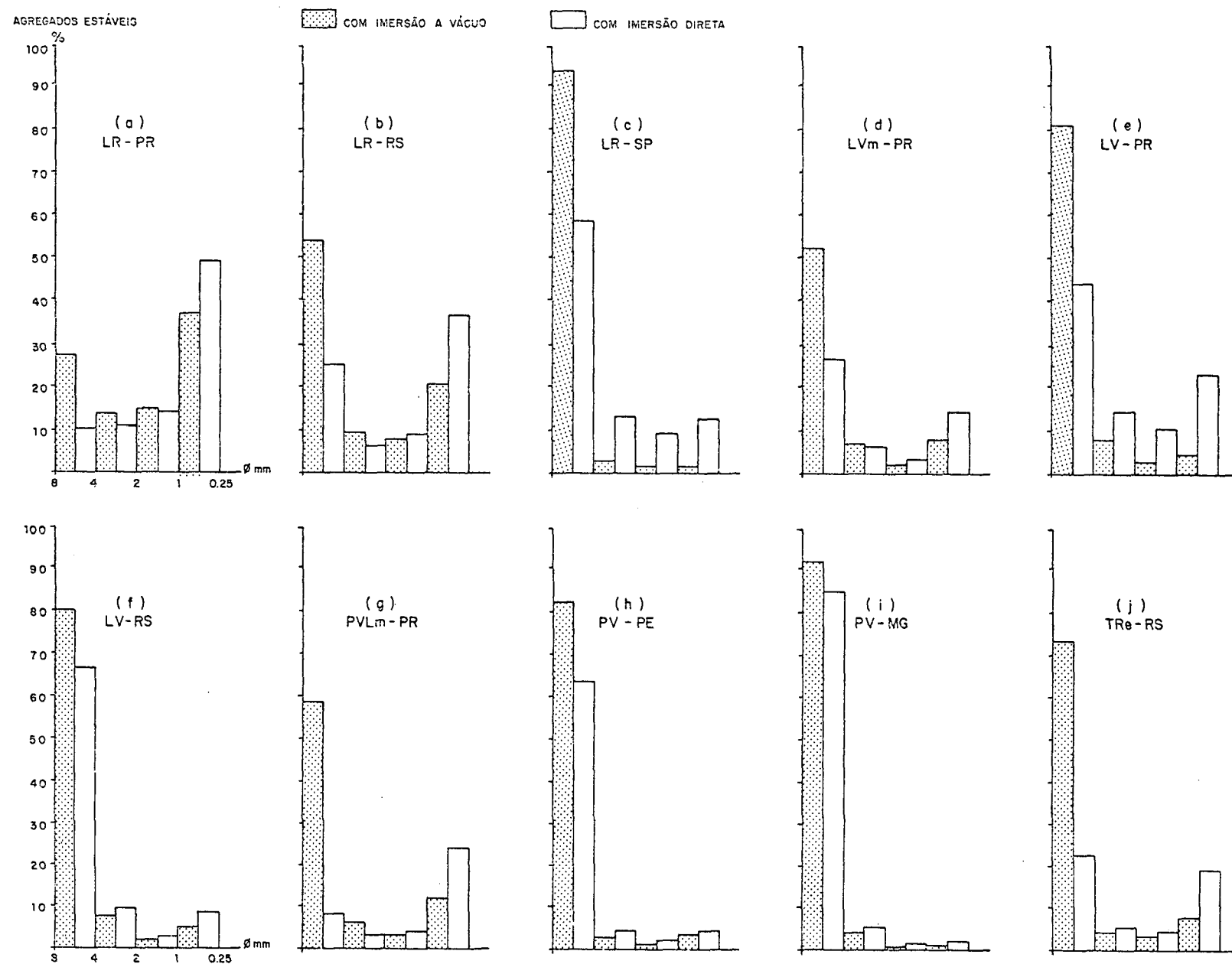




GRÁFICO 3 - HISTOGRAMA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS ATRAVÉS DE IMERSÃO DIRETA E A VÁCUO.



contraste entre a alta percentagem de agregados estáveis  $>0,25$  mm e as baixas percentagens de agregados maiores.

### 3.2 RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA

#### 3.2.1 Considerações Sobre o Teste de Resistência dos Agregados ao Impacto da Gota

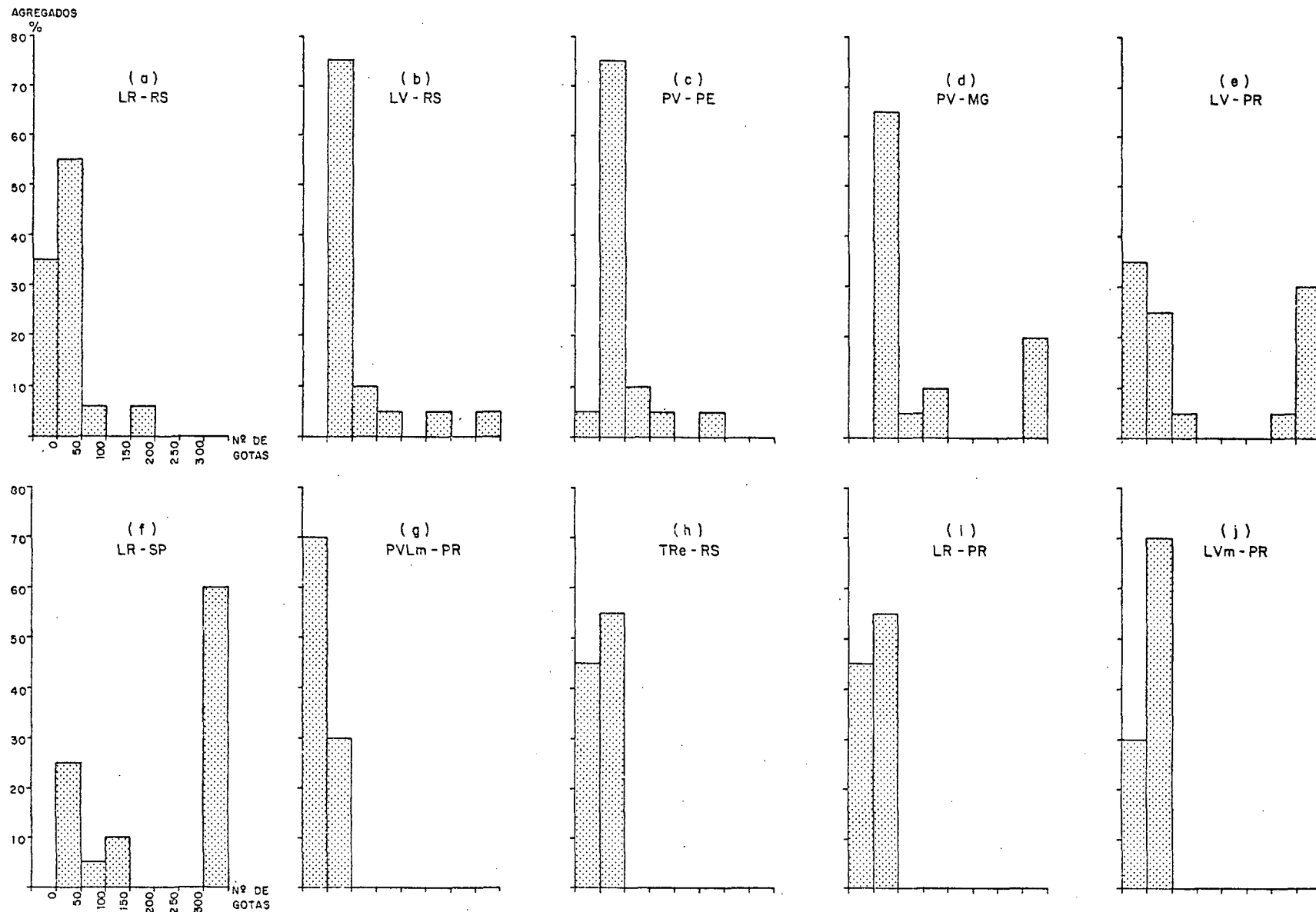
Os resultados obtidos nos testes de resistência ao impacto da gota, apresentados na tabela 5 e nos histogramas (gráfico 4) mostram uma alta variabilidade da resistência dos agregados para um mesmo solo, podendo-se observar a frequência de ocorrência de agregados de diferentes resistências.

TABELA 5- RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA

SOLOS	COEFICIENTE G		
	Média - x	Desvio Padrão Sn-1	Coeficiente de Variação CV (%)
LR-PR	0,64	0,23	35,75
LR-RS	6,28	1,63	26,90
LR-SP	66,47	7,35	11,05
LVm-PR	1,34	0,09	6,89
LV-PR	36,02	7,62	21,26
LV-RS	16,34	0,94	5,76
PVLm-PR	0,54	0,05	9,25
PV-PE	11,44	4,33	37,91
PV-MG	30,62	1,96	6,40
TRe-RS	1,10	0,33	29,57

Os histogramas do gráfico 4 podem ser agrupados em três

GRÁFICO 4 - HISTOGRAMA DA RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA .



OBS. A COLUNA A ESQUERDA DE O(ZERO) CORRESPONDE AOS AGREGADOS QUE NÃO RESISTIRAM AO MOLHAMENTO, E A COLUNA A DIREITA DE 300 CORRESPONDE AOS AGREGADOS QUE RESISTIRAM ATÉ O FINAL DO TESTE.

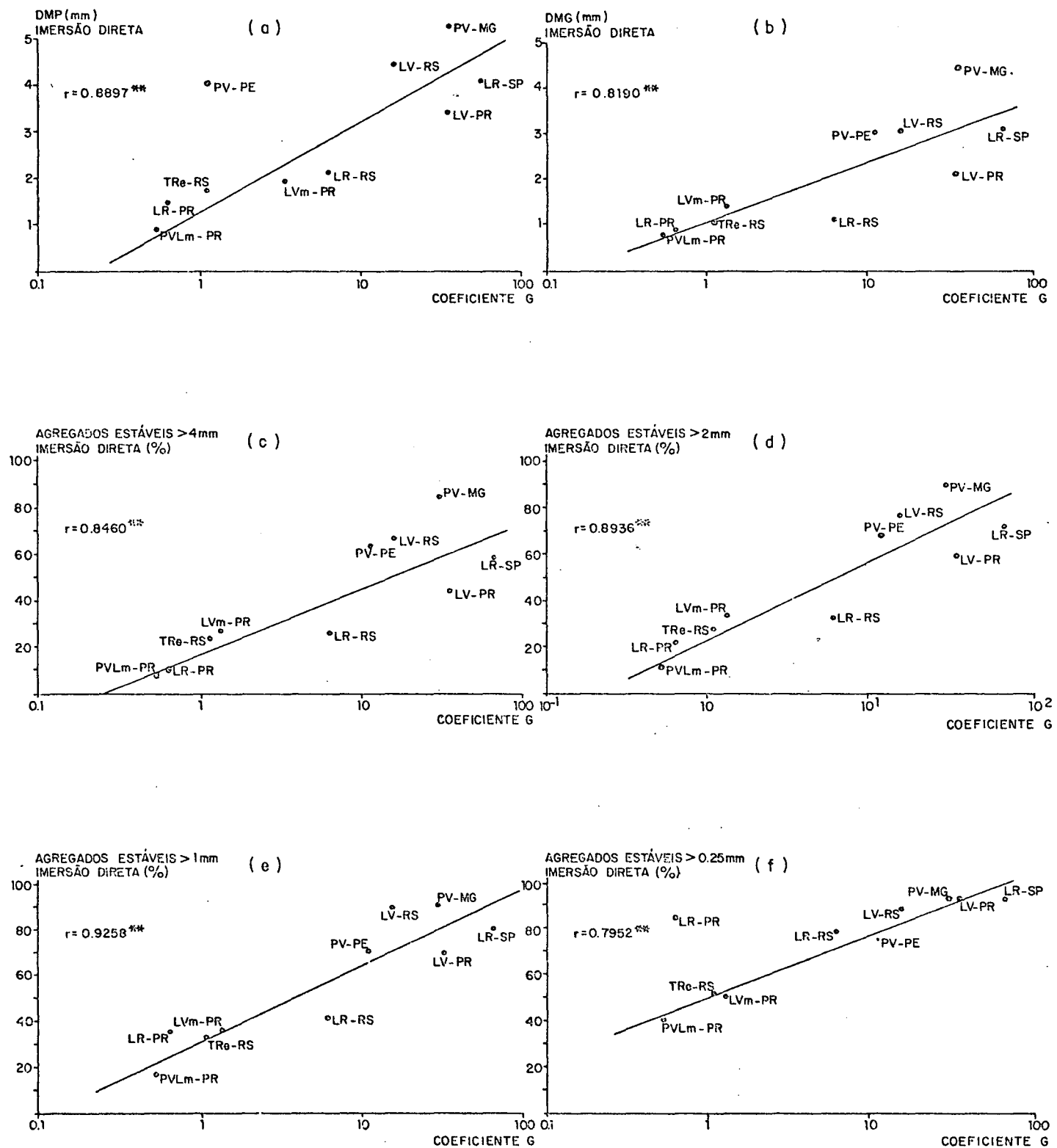
tipos básicos, que mostram o diferente comportamento dos agregados dos solos estudados. Nos solos LR-PR, LVm-PR, PVLm-PR e TRe-RS, (gráficos 4i, j, g, h), parte dos agregados não resistiu à imersão e os restantes foram destruídos com o impacto de menos de 50 gotas. Os solos LR-RS, LV-RS e PV-PE (gráficos 4a, b, c), apresentaram um comportamento similar, mas uma pequena percentagem, 10% a 25%, foram mais resistentes. Finalmente, os solos LR-SP, LV-PR e PV-MG apresentam no histograma uma distribuição bimodal, em que um grupo de agregados tem resistência menor que 150 gotas e outro maior que 250 gotas. Os histogramas desses dois grupos de solo mostram claramente a existência, no mesmo solo e horizonte, de agregados com características muito diferentes quanto à sua capacidade de resistir à imersão direta e ao impacto da gota. Diferenças menores que as indicadas pelos histogramas, mas significativas para os agregados de baixa resistência, podem ser observados na tabela A.4. Também foi encontrado um alto coeficiente de variação entre as duas repetições, com um valor máximo de 38% e um valor médio de 19%.

Esse resultados indicam a necessidade de aumentar o número de determinações de cada repetição para obter resultados com menor variação entre as repetições.

### 3.2.2 Correlação entre a Resistência dos Agregados ao Impacto da Gota e a Estabilidade dos Agregados em Água

Os coeficientes de correlação entre a resistência dos agregados ao impacto da gota e estabilidade dos agregados em água estão indicados na tabela A.5 e gráfico 5. O valor mais alto correspondeu ao coeficiente entre o logaritmo do coeficiente G e agrega-

GRÁFICO 5-CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE EM ÁGUA E A RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA



dos  $> 1$  mm (0,9258\*\*) (gráfico 5e). Outros altos coeficientes foram obtidos entre o logaritmo do coeficiente G e o logaritmo dos agregados  $> 2$  mm (0,9047\*\*) e logaritmo do DMP (0,9077\*\*).

Comparando os coeficientes obtidos na correlação entre o logaritmo do coeficiente G e a estabilidade dos agregados determinada por imersão direta se observa que são maiores (0,9258\*\* e 0,7952\*\*) que coeficientes da correlação com a estabilidade de agregados determinada a vácuo (0,8738\*\* a 0,6766\*). Essa correlação pode ser explicada pelo fato que tanto nas determinações da resistência dos agregados ao impacto da gota como nas de estabilidade dos agregados com imersão direta está presente o efeito desagregante do ar retido nos poros durante a imersão, enquanto que esse efeito é eliminado na imersão a vácuo.

Nos gráficos pode-se observar que os pontos de correlação situam-se sobre duas linhas, sendo mais evidente para os agregados  $> 4$  mm e  $> 2$  mm, (gráficos 5c, d), que mostram um comportamento diferencial dos solos estudados. Assim, os solos LR-RS, LR-SP e LV-PR apresentaram uma resistência dos seus agregados ao impacto da gota superior a que seria de esperar pela sua percentagem de agregados estáveis em água se comparados com os restantes. Isso indica que esses solos possuem uma suscetibilidade maior à desagregação pelas forças de abrasão que atuam no peneiramento que pelo impacto das gotas de água.

### 3.3 CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS E A ERODIBILIDADE

O objetivo principal do estudo das relações entre a erodibilidade e as características físicas e químicas do solo é

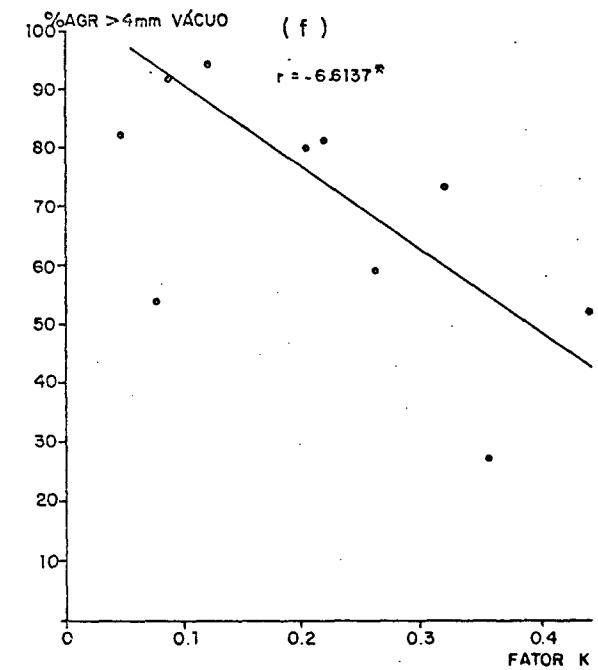
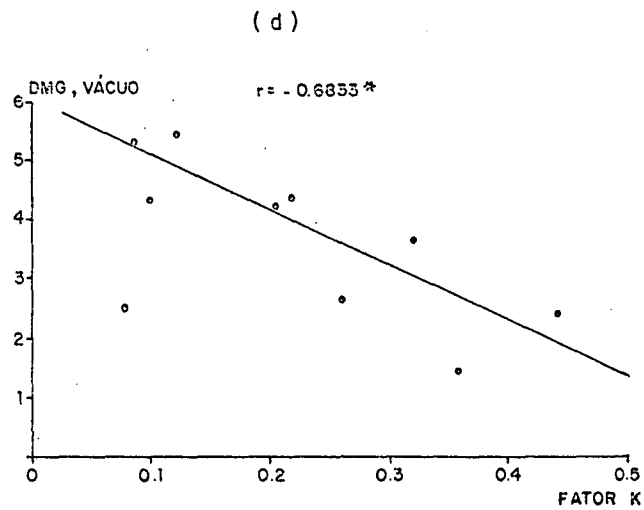
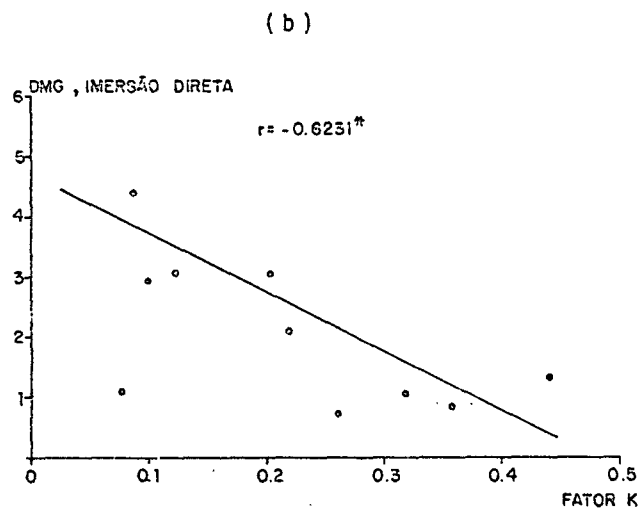
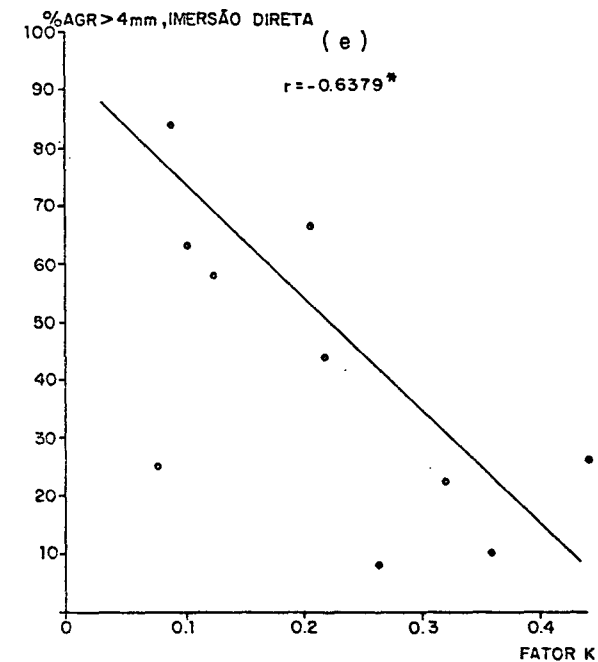
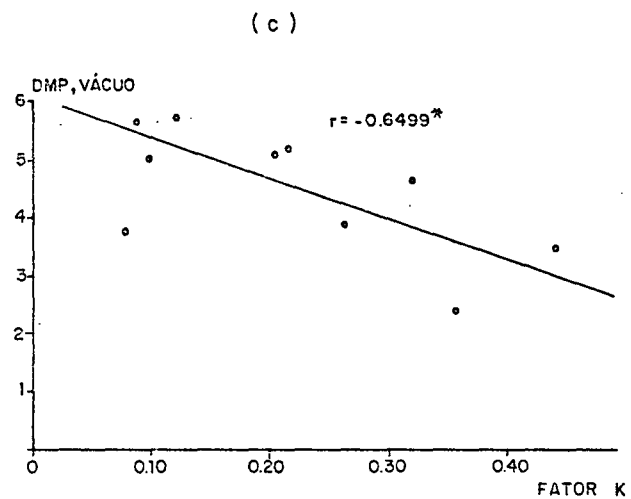
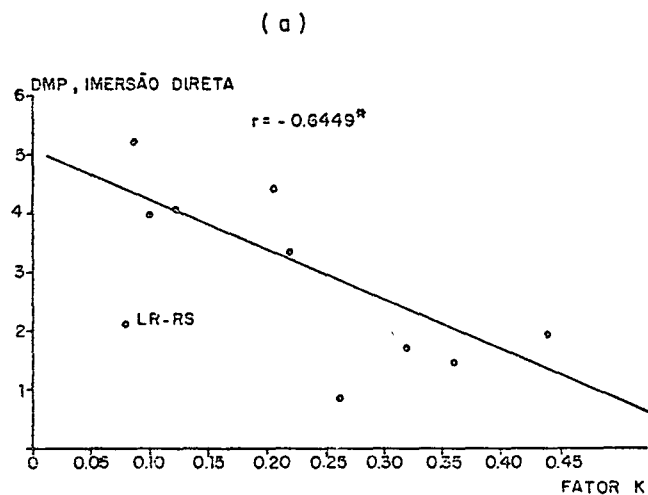
tentar conhecer suas influências sobre a erodibilidade e quais são as características que poderiam ser utilizadas com índice de erodibilidade.

A análise bibliográfica mostra que numerosos autores têm-se ocupado dessa problemática relacionando a erodibilidade com as características do solo, no entanto, esses trabalhos devem ser separados em dois grupos de pesquisas: Um grupo que pesquisa as correlações entre as características do solo com um índice de erodibilidade, o qual, supõe-se implícita ou explicitamente nos trabalhos, representa a erodibilidade do solo. A dificuldade apresentada nesses é de que os índices frequentemente não correspondem ajustadamente à erodibilidade determinado por métodos diretos. Outro grupo que compara as características do solo com a erodibilidade determinada por métodos diretos em condições padronizadas. É nesse segundo tipo de estudos que se insere o presente trabalho.

Os coeficientes de correlação entre a erodibilidade e a estabilidade dos agregados, determinada por vários métodos e representada de diversas formas, foram significativos ao nível de 5% e 1% em todos os casos (tabela A.6, gráfico 6 e 7), evidenciando ser a agregação a característica dentre as testadas, que melhor se correlaciona com a erodibilidade.

As primeiras pesquisas sobre a suscetibilidade à erosão dos solos já mostram que a agregação e a estabilidade dos agregados foram indiretamente consideradas na elaboração dos índices de erodibilidade. Por exemplo, o índice de dispersão de MIDDLETON (1930) pode ser entendido como uma característica da agregação do solo. Mas foi LUTZ (1934), que primeiro explicitou a relação entre os agregados e a erodibilidade. Trabalhos

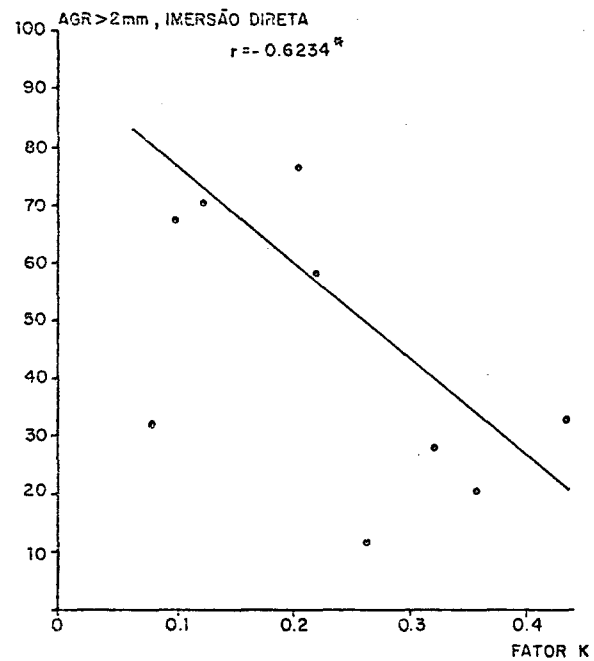
GRÁFICO 6 - CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS



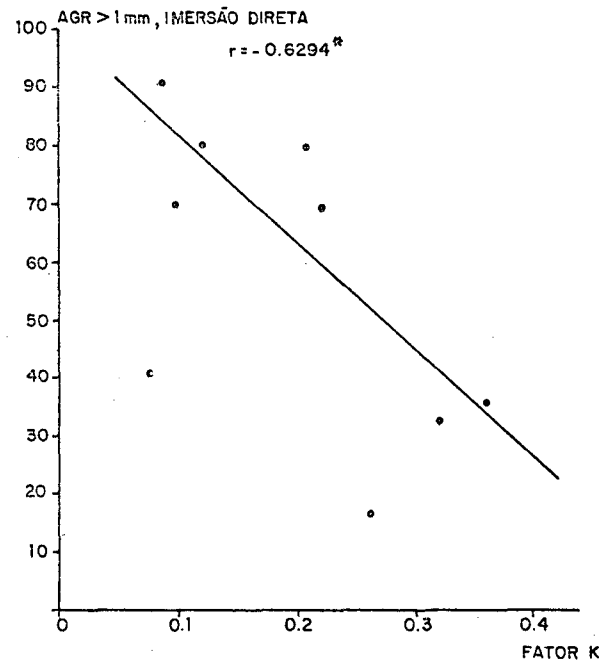


# GRÁFICO 6 - CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

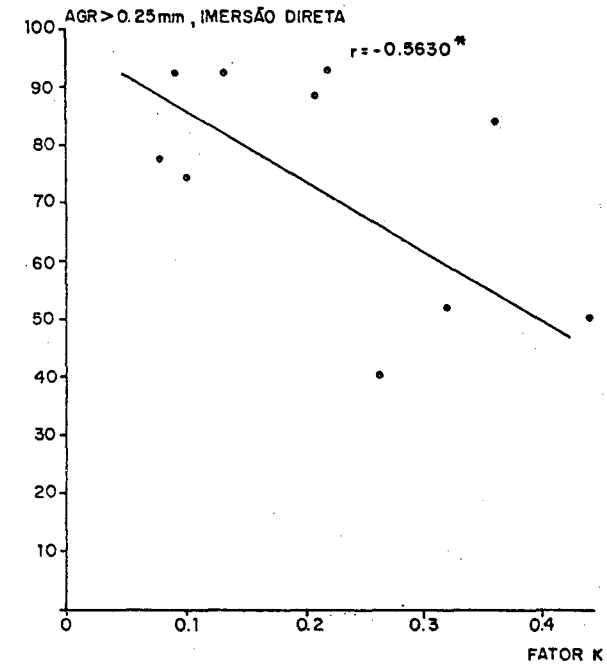
(g)



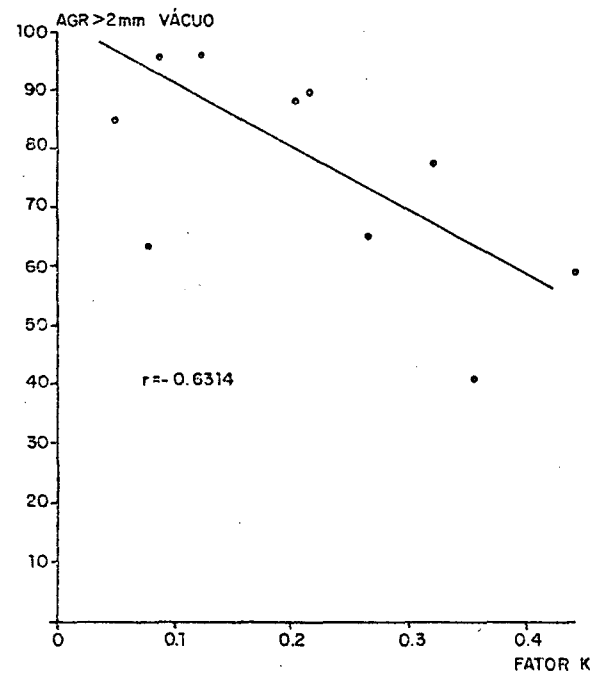
(i)



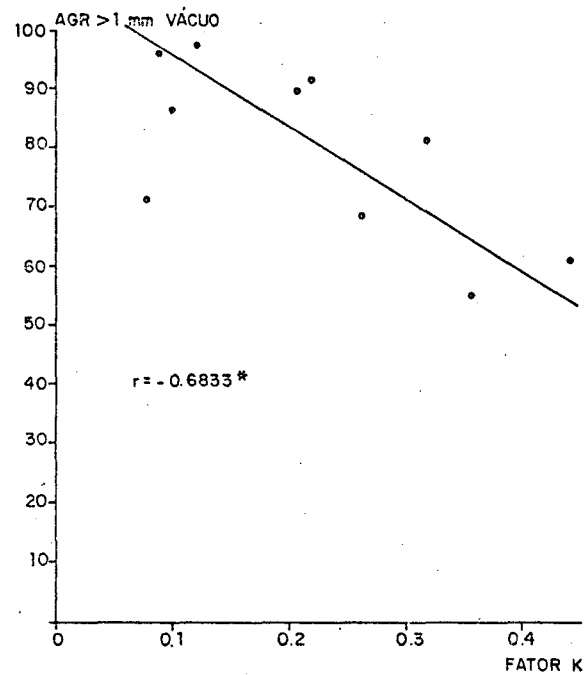
(l)



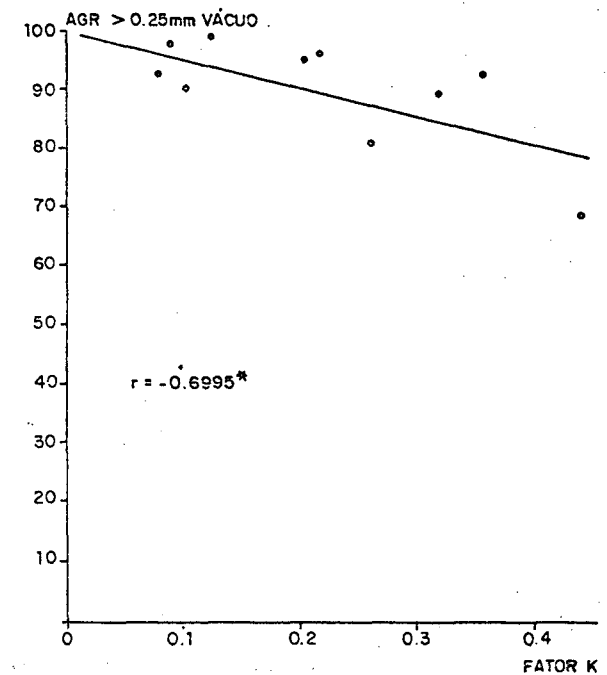
(h)



(j)

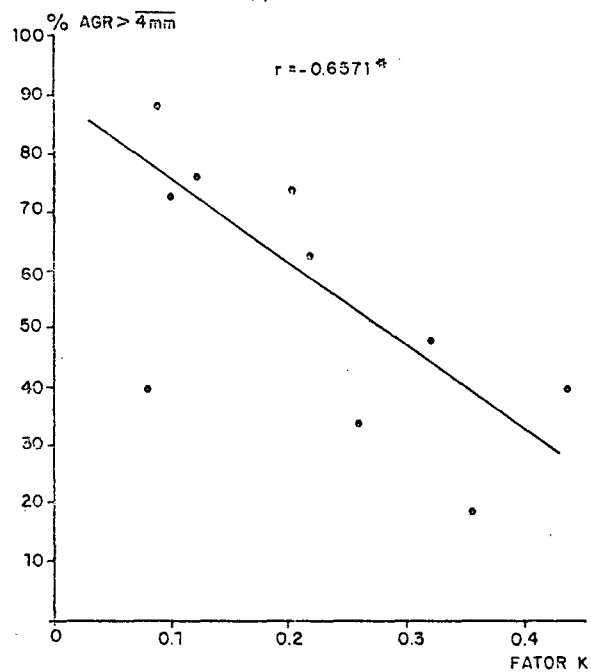


(m)

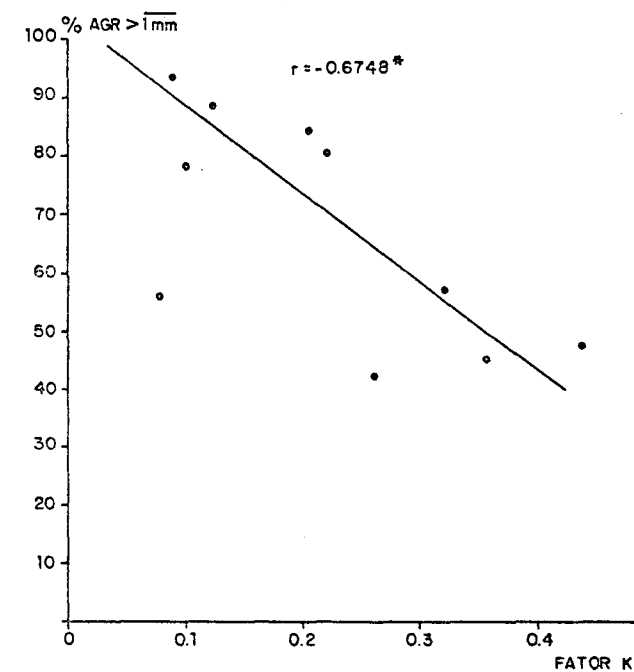


# GRÁFICO 6 - CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

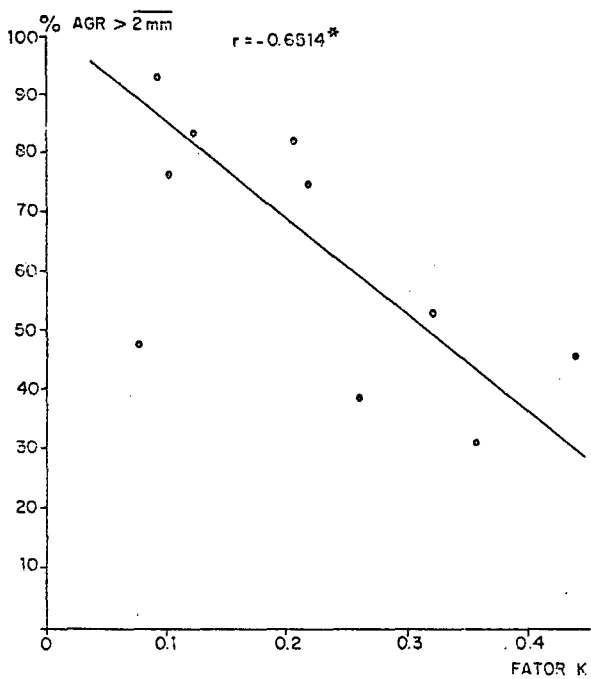
(p)



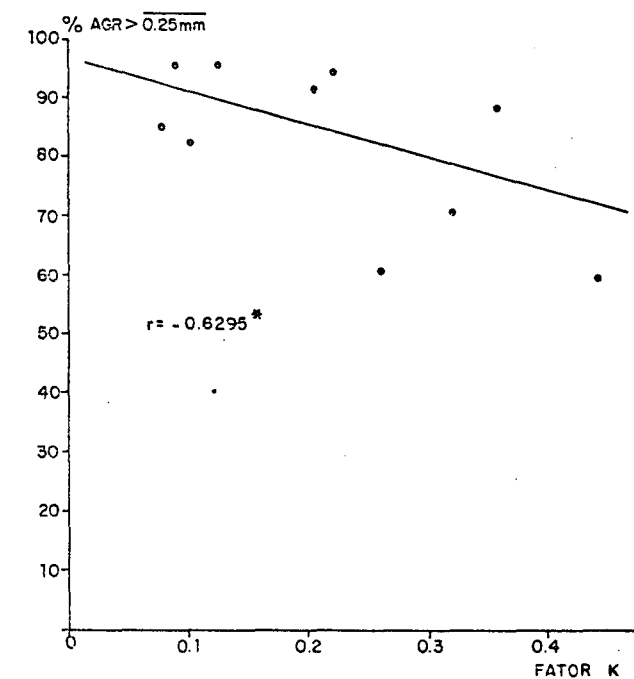
(r)



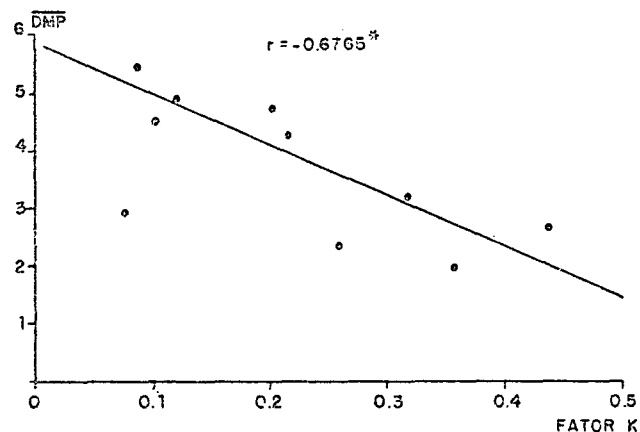
(q)



(s)



(n)



(o)

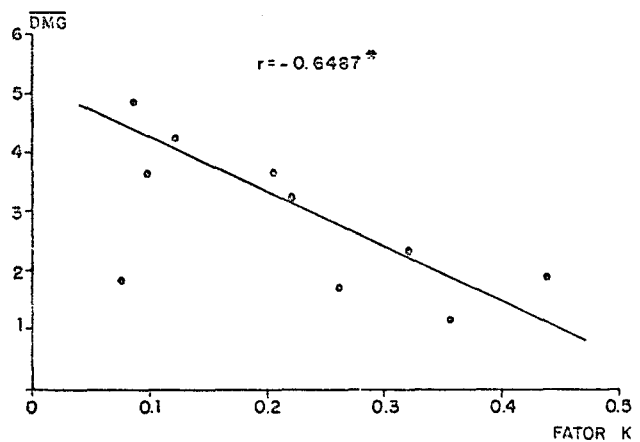
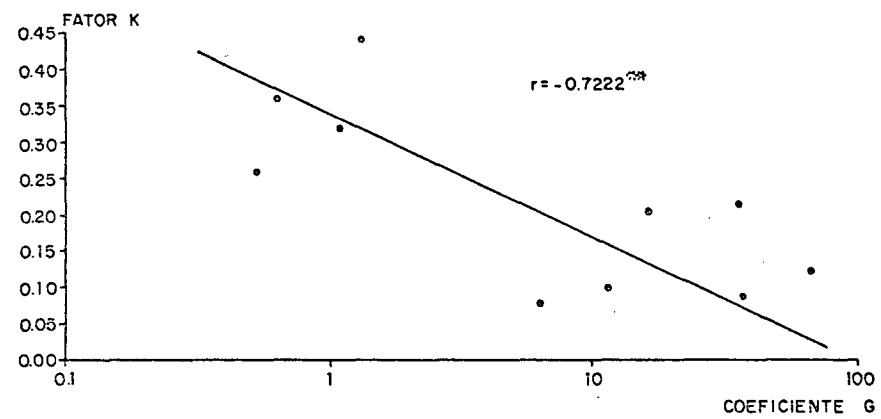


GRÁFICO 7-CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E A RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA.



subseqüentes (YODER, 1936<sup>87</sup>; ELSON e LUTZ, 1940<sup>26</sup>; WILSON e BROWNING, 1946<sup>80</sup>; VOZNESENSKY e ARTSRUUI, 1946<sup>77</sup>; BRIAN, 1968<sup>18</sup>) reforçam a idéia de que a agregação do solo é uma das mais importantes características a ser considerada quando se investiga o comportamento do solo em relação a sua suscetibilidade à erosão.

No trabalho de WISCHMEIER e SMITH (1965)<sup>83</sup> indica-se que as características que influenciam a erodibilidade do solo pela água são aquelas que afetam a infiltração, a permeabilidade e a capacidade de armazenamento de água e aquelas que resistem às forças de dispersão, desagregação, abrasão e transporte pelo escoamento superficial e a chuva. Observa-se que a agregação é uma das características que mais influenciam esses fatores. Num estudo posterior, WISCHMEIER e MANNERING (1969)<sup>82</sup> pesquisando as relações entre a erodibilidade e as características do solo, encontraram que os agregados estáveis possuem uma relação inversa com a erodibilidade, mas que explicou só 6% do total da variação da erodibilidade dos solos. Assim, no nomograma elaborado por WISCHMEIER et alii (1971)<sup>85</sup> para determinar o fator K, a agregação não foi incluída.

Neste estudo os coeficientes de correlação entre a erodibilidade e a estabilidade de agregados em água determinados com imersão direta variam de -0,64\* a -0,56\* para as diferentes formas de representação, sendo que o valor mais alto correspondeu ao DMP (0,6449\*). Para as determinações a vácuo, os valores dos coeficientes variam entre -0,70\* e -0,61\*, e o valor mais alto correspondeu aos agregados > 0,25 mm (-0,6999\*). Comparando os valores obtidos com imersão direta e a vácuo, não se observa claramente uma melhor correlação entre um e outro método,

são para os agregados  $> 1$  mm e  $> 0,25$  mm os coeficientes são mais altos para as determinações a vácuo. No entanto, pensa-se que essas diferenças não são suficientes para estabelecer se os resultados obtidos através desse último método apresentam uma correlação com a erodibilidade melhor que os obtidos por imersão direta.

Quando a correlação é realizada entre o fator K e a média das determinações com imersão direta e a vácuo dos parâmetros que representam a estabilidade dos agregados, os coeficientes são, em geral, superiores aos obtidos com um dos dois tipos de determinação individualmente. Os maiores valores corresponderam ao DMP ( $-0,6765^*$ ) e os agregados  $> 1$  mm ( $-0,6748^*$ ).

Os gráficos mostram que o solo que mais se afasta do comportamento geral é o LR-RS, que possui uma baixa estabilidade dos agregados, mas também uma baixa erodibilidade (gráfico 6).

Para o teste de resistência dos agregados ao impacto da gota, o coeficiente de correlação maior foi de  $0,72^{**}$  para a correlação entre o logaritmo do fator K e o coeficiente G, que resultou no único coeficiente significativo ao nível de 1% (gráfico 7).

### 3.4 CORRELAÇÃO ENTRE A ERODIBILIDADE, A GRANULOMETRIA E A UMI- DADE HIGROSCÓPICA

A erodibilidade foi correlacionada com sete parâmetros texturais do solo: teor de argila, silte, areia total, areia grossa, areia média e fina, areia muito fina e silte mais areia muito fina (tabela 6 e gráfico A.2); cujos coeficientes estão apresentados na tabela 7.

TABELA 6 - GRANULOMETRIA E UMIDADE HIGROSCÓPICA

SOLO	GRANULOMETRIA*						UMIDADE HIGROSCÓPICA**
	Areia Total	Areia Grossa (2-0,5mm)	Areia Média e Fina (0,5-0,1mm)	Areia Muito Fina (0,1-0,05mm)	Silte (0,05mm-0,002mm)	Argila (<0,002mm)	
LR-PR	5,0	0,0	3,0	2,0	14,0	81,0	3,47
LR-RS	28,0	1,0	24,5	2,5	18,0	54,0	6,11
LR-SP	35,0	8,0	19,0	8,0	15,0	50,0	2,28
LVm-PR	86,5	0,0	82,5	4,0	2,0	11,5	0,37
LV-PR	5,5	1,0	4,0	0,5	19,0	75,5	4,02
LV-RS	35,0	1,5	26,0	7,5	15,5	49,5	3,43
PVLM-PR	72,0	2,5	64,0	5,5	4,0	24,0	0,95
PV-PE	72,0 <sup>a</sup>	29,5 <sup>a</sup>	36,0	6,5	8,0	20,0	1,30
PV-MG	49,0	9,5	29,0	10,5	11,0	40,0	1,73
TRe-RS	57,0 <sup>b</sup>	19,5 <sup>b</sup>	30,5	7,0	20,0	23,0	2,08

OBS: \*Média de três repetições, obtido graficamente

\*\*Média de três repetições

a Inclui 6% do material maior de 2mm

b Inclui 0,5% do material maior de 2mm

TABELA 7 - CORRELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA, UMIDADE HIGROSCÓPICA E A ERODIBILIDADE

	CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE	GRANULOMETRIA (F)							UMIDADE HIGROSCÓPICA (F)/(%)
		Argila %	Silte %	Areia Total %	Areia Grossa %	Areia Média e Fina %	Areia Muito Fina %	Silte Mais Areia Muito Fina %	
Erodibilidade (X)	K e F	(0,1417)	(0,2914)	0,1852	(0,3229)	0,3851	(0,3660)	(0,4526)	(0,3655)
	log K e G	(0,0745)	(0,2134)	0,1108	(0,3206)	0,2987	(0,3543)	(0,3725)	(0,3493)
	K e log G	(0,3381)	(0,4601)	(0,0745)	(0,3739)	(0,0012)	(0,2123)	(0,5498)*	(0,4724)
	log K e log G	(0,2512)	(0,3696)	(0,1364)	(0,3571)	(0,0735)	(0,2384)	(0,4596)	(0,3973)

OBS: \*Significativo a nível de 5%

Vários autores têm relacionado a erodibilidade com os parâmetros granulométricos do solo (BENNETT, 1926, citado por PEELE, 1937<sup>57</sup>; PEELE, 1937<sup>56</sup>; BARNETT et alii, 1966<sup>3</sup>; BRYAN, 1968<sup>18</sup>; WISCHMEIER e MANNERING, 1969<sup>82</sup>; RÜMKENS et alii, 1977<sup>66</sup>; EL-SWAIFY e DANGLER, 1976<sup>27</sup>).

Os coeficientes de correlação entre a erodibilidade e as características texturais dos solos estudados, com exceção de um, não foram significativos a nível de 5%, no entanto algumas tendências no comportamento de alguns parâmetros texturais em relação à erodibilidade podem ser observadas.

O conteúdo de argila parece apresentar uma correlação inversa com a erodibilidade se o coeficiente é calculado para os solos com até 60% de argila, obtendo-se um valor de -0,6866\*, significativo a nível de 5% (gráfico 8a).

Os dois solos com mais de 70% de argila (LR-PR e LV-PR) não apresentam esse comportamento, possuindo uma alta erodibilidade.

Os teores de silte e silte mais areia muito fina apresentaram coeficientes de correlação de -0,46 e -0,55\*, respectivamente, sendo o último significativo ao nível de 5% (gráfico 8b). Salienta-se o valor negativo dos coeficientes que indicam uma relação inversa. Esses resultados estariam em contraposição com os obtidos por outros autores, principalmente WISCHMEIER e MANNERING (1969)<sup>82</sup> e WISCHMEIER et alii (1971)<sup>85</sup> que encontraram uma forte correlação direta entre a erodibilidade e o teor de silte.

Duas considerações podem ser feitas para explicar esse comportamento. Primeiro, os baixos teores de silte e silte mais areia muito fina de solos estudados, que causam que todos os

valores estejam localizados em um extremo da correlação entre essa característica e a erodibilidade. Segundo, se se consideram os solos com menos de 18% de silte mais areia muito fina, se obtém uma correlação inversa de  $-0,5139$  (gráfico 8b), mas se se consideram os solos com mais de 18% de silte mais areia muito fina a relação torna-se direta e com um valor  $0,6441^*$ . Assim, poderia-se supor que o efeito do teor de silte mais areia muito fina como favorecedor da erodibilidade do solo só começa a se manifestar quando este parâmetro atinge uma percentagem em torno de 18%.

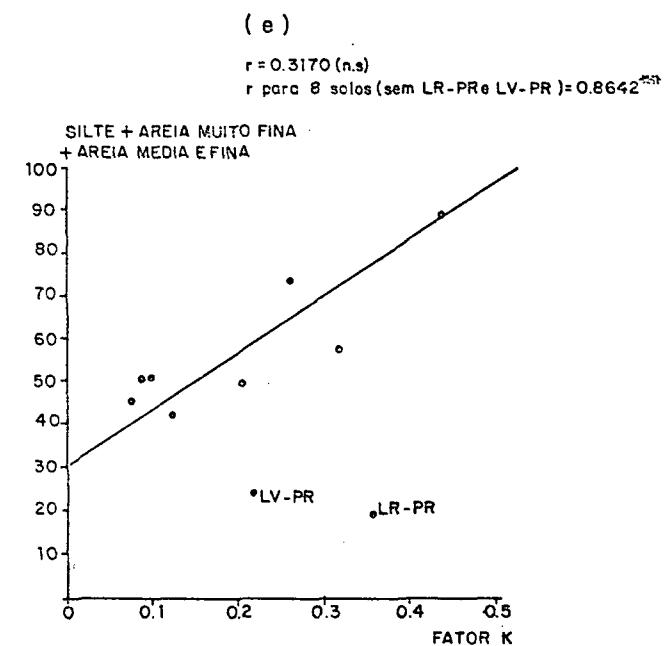
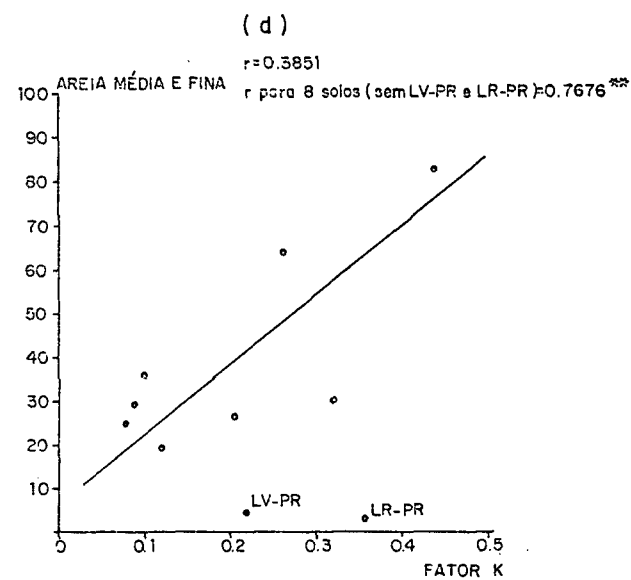
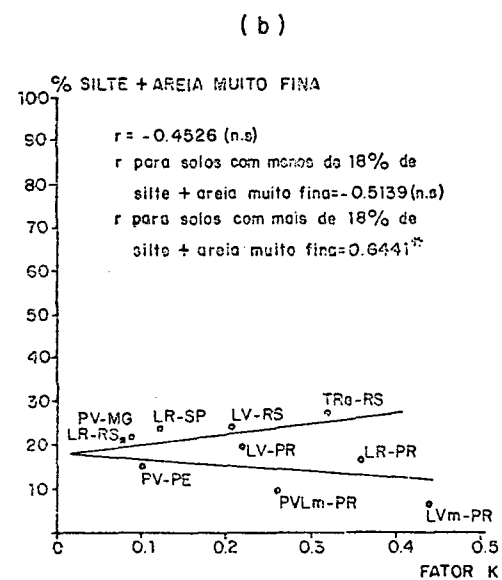
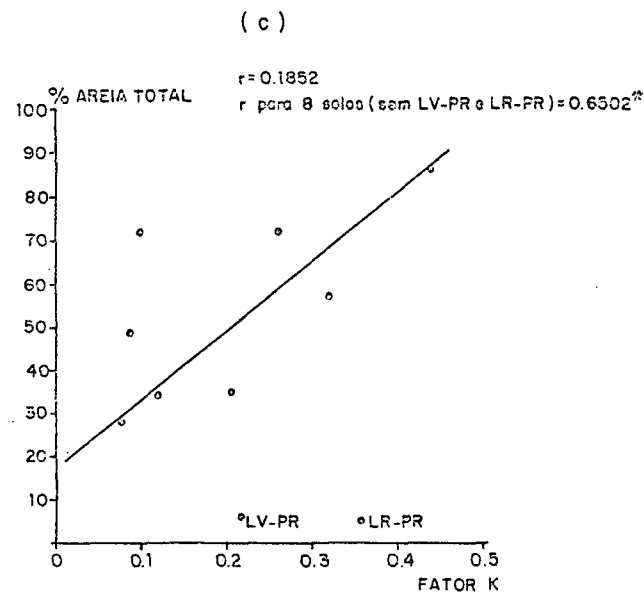
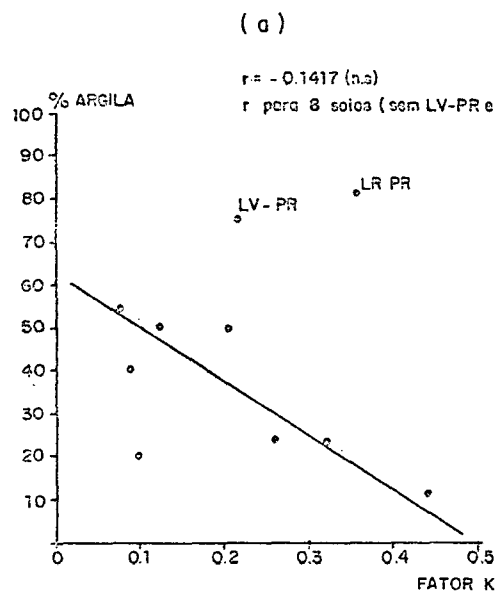
Essas suposições deveram ser confirmadas, pois o escasso número de dados não permite obter indicações mais confiáveis.

Dados os baixos teores de silte dos solos estudados, a relação entre a areia total e o fator K resultou similar e inversa à relação entre o fator K e a argila. Os coeficientes de correlação não foram significativos ao nível de 5% quando considerados todos os solos, mas quando são excluídos os com teores de areia inferiores a 10% (LR-PR e LV-PR), a correlação é de  $0,6502^*$ . A correlação entre a erodibilidade e a areia média a fina foi superior à da areia total, com um coeficiente de correlação foi superior à da areia total, com um coeficiente de correlação, para os solos com mais de 10% de areia, de  $0,7676^*$  (gráfico 8c, d). Considerando o teor de silte mais areia  $< 0,5$  mm, e excluindo os dois solos mencionados, se obtém um coeficiente de correlação de  $0,8642^{**}$  (gráfico 8e).

Esses resultados parecem indicar que o silte e a areia  $< 0,5$  mm são as frações granulométricas que mais favorecem a erosão do solo. A areia  $> 0,5$  mm não teria este mesmo comportamento, dada a maior massa das partículas.



GRÁFICO 8 - CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E AS CARACTERÍSTICAS TEXTURAIS DO SOLO.



O comportamento diferencial dos solos LR-PR e LV-PR, que apresentam uma erodibilidade relativamente alta se comparada com a que seria de esperar pelas suas características texturais, parece indicar que a erosão destes solos se processa principalmente na forma de pequenos agregados, e não como partículas individuais, esta posição é concordante com o observado nos testes de estabilidade dos agregados destes solos, sobretudo o do LR-PR, que mostra uma baixa estabilidade de agregados grandes ( $> 1$  mm) e uma alta estabilidade dos agregados pequenos ( $< 1$  mm).

A umidade higroscópica não apresentou correlação significativa, ao nível de 5%, com a erodibilidade do solo.

### 3.5 CORRELAÇÃO ENTRE A ERODIBILIDADE E AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

As características químicas do solo (pH em água, pH em KCL e  $\Delta$ pH; teores de alumínio, cálcio mais magnésio, hidrogênio e potássio trocáveis; fósforo assimilável e carbono orgânico) foram correlacionadas com a erodibilidade (tabela A.7 e 8).

As correlações lineares simples foram realizadas entre cada característica química e a erodibilidade; entre as características químicas e o logaritmo da erodibilidade; entre o logaritmo das características químicas e a erodibilidade e entre os logaritmos (tabela 9).

Vários pesquisadores como BENNETT (1926), citado por BRYAN 1968<sup>18</sup>; BARNETT et alii (1966)<sup>3</sup>, LYLE e SMERDON (1965)<sup>4,9</sup> WISCHMEIER e MANNERING (1969)<sup>8,2</sup> WISCHMEIER et alii (1971)<sup>8,5</sup> e EL-SWAIFY e DANGLER (1977)<sup>2,7</sup> encontraram uma correlação inversa entre a erodibilidade do solo e o teor de matéria orgânica

ou de carbono. WISCHMEIER e MANNERING (1969)<sup>82</sup> indicam que essa correlação é muito forte para os solos de textura siltosa, franco siltosa, franca e franco arenosa, mas a significância declina quando a fração argila se torna maior e resulta insignificante nos solos de textura argilosa.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram coeficientes de correlação não significativos ao nível de 5% entre a erodibilidade e o teor de carbono orgânico. No entanto, o gráfico 9 mostra que os valores mais divergentes são os que correspondem aos solos LR-PR e LV-PR, que possuem 81% e 75,5% de argila, respectivamente. Calculando o coeficiente de correlação para os oito solos restantes obtêm-se um coeficiente de correlação de  $-0,5942^*$ .

Se a correlação é calculada só para os 5 solos de textura não argilosa, o coeficiente sobe para  $-0,9686^{**}$ . Estes resultados parecem indicar um comportamento da relação carbono-erodibilidade similar à descrita por WISCHMEIER e MANNERING (1969<sup>82</sup>).

Pode-se concluir que os solos não argilosos parecem ter uma correlação inversa entre a erodibilidade e a matéria orgânica mas o escasso número de casos utilizados (cinco) não permite precisar e afirmar essa correlação. Ademais, nessa correlação deve ser considerada a existência de níveis de outros parâmetros físicos e químicos do solo. Enquanto os solos argilosos, principalmente aqueles com mais de 70% de argila, embora apresentem teores de matéria orgânica altos, também apresentam uma alta erodibilidade.

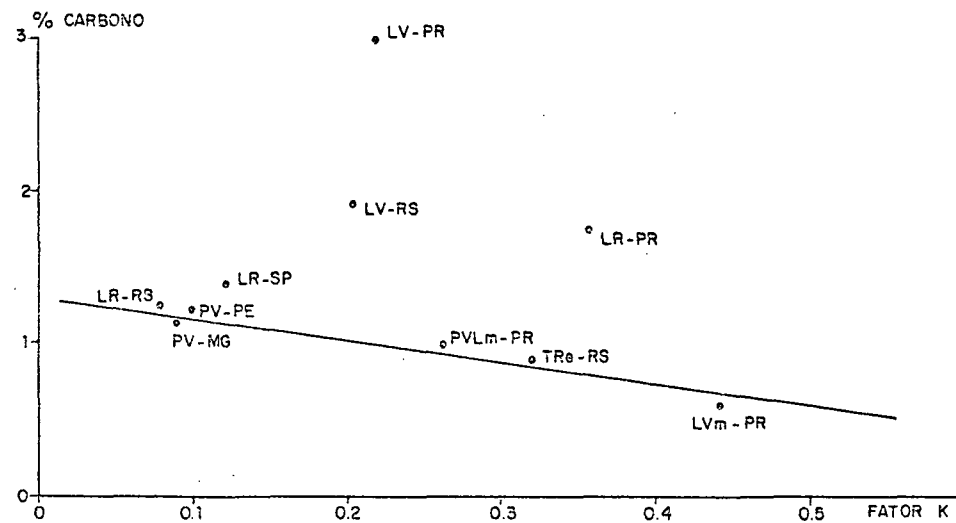
Quanto às outras características químicas estudadas, a literatura consultada apresenta algumas correlações da erodi-

### GRÁFICO 9 - CORRELAÇÃO ENTRE O FATOR K E O TEOR DE CARBONO

$r$  dos 10 solos = -0.1410 (n.s)

$r$  de 8 solos (sem LR-PR, LV-PR) = -0.5942\*

$r$  de 5 solos não argilosos (LVm-PR, PVLm-PR, PV-PE, PV-MG e TRe-RS) = -0.9686\*\*\*



bilidade com o teor de cálcio trocável (PEELE, 1937<sup>56</sup>; HARIDISAN e CHIBBER, 1971<sup>42</sup>); com o pH (WISCHMEIER e MANNERING, 1969)<sup>82</sup> dependendo da estrutura; com o pH em água e  $\Delta$ pH (EL-SWAIFY e DANGLER, 1977<sup>27</sup>) Mas os solos estudados não apresentaram coeficientes de correlação significativos entre a erodibilidade e o pH em água; pH em KCL;  $\Delta$ pH; Al, Ca+Mg, H e K trocáveis; e P assimilável.

### 3.6 RESTRIÇÕES AO USO DO NOMOGRAMA DE WISCHMEIER ET ALII (1971)

WISCHMEIER et alii (1971)<sup>85</sup> foram os primeiros autores a elaborar um nomograma que permite determinar de forma simples e rápida o fator K de um solo, com base em cinco características do solo de fácil determinação.

No Brasil, as pesquisas nas quais se testou ou comparou os valores de fator K obtido pelo nomograma e por determinações diretas foram encontradas inadequações e valores divergentes. (FREIRE e PESSOTTI, 1976<sup>37</sup>; POMBO et alii, 1980<sup>60</sup>; HENKLAIN, 1980<sup>42</sup>).

As determinações do fator K pelo método do nomograma de WISCHMEIER et alii (1971) para os solos estudados forneceram valores em geral discordantes dos obtidos por métodos diretos (tabela 10). Observa-se que para oito dos solos estudados a erodibilidade foi subestimada pelo método nomográfico e para dois solos superestimada. Os valores mais divergentes foram para os solos LVm-PR e LR-PR em que o fator K obtido por métodos diretos é de 0,44 e 0,36, contra 0,04 e 0,06 respectivamente para o fator K obtido pelo nomograma.

O valor mais próximo foi para o LR-RS com valores de 0,08 e 0,06 para os métodos diretos e nomográfico, respectivamente.

TABELA 10 - ERODIBILIDADE DO SOLO DETERMINADA PELO NOMOGRAMA DE WISCHMEIER ET ALII (1971)

SOLO	PARÂMETROS					FATOR K		
	Silte mais areia muito fina (%)	Areia >0,1mm (%)	Materia Or- gânica (%)	Estrutura *	Permeabili- dade *	K <sub>n</sub>	K <sub>nc</sub>	K <sub>d</sub>
LR-PR	16,0	3,0	2,98	2	2	0,05	0,06	0,36
LR-RS	20,5	25,5	2,13	2	2	0,05	0,06	0,08
LR-SP	23,0	27,0	2,34	3	2	0,07	0,09	0,12
LVm-PR	6,0	82,5	1,00	3	1	0,03	0,04	0,44
LV-PR	19,5	5,0	5,13	4	2	0,06	0,08	0,22
LV-RS	23,0	27,5	3,23	1	2	0,05	0,06	0,21
PVLm-PR	9,5	66,5	1,67	4	1	0,06	0,08	0,26
PV-PE	14,5	65,5	2,08	2-3	4	0,12	0,16	0,10
PV-MG	21,5	38,5	1,94	4	2	0,11	0,14	0,09
TRe-RS	27,0	50,0	1,53	4	3	0,20	0,26	0,32

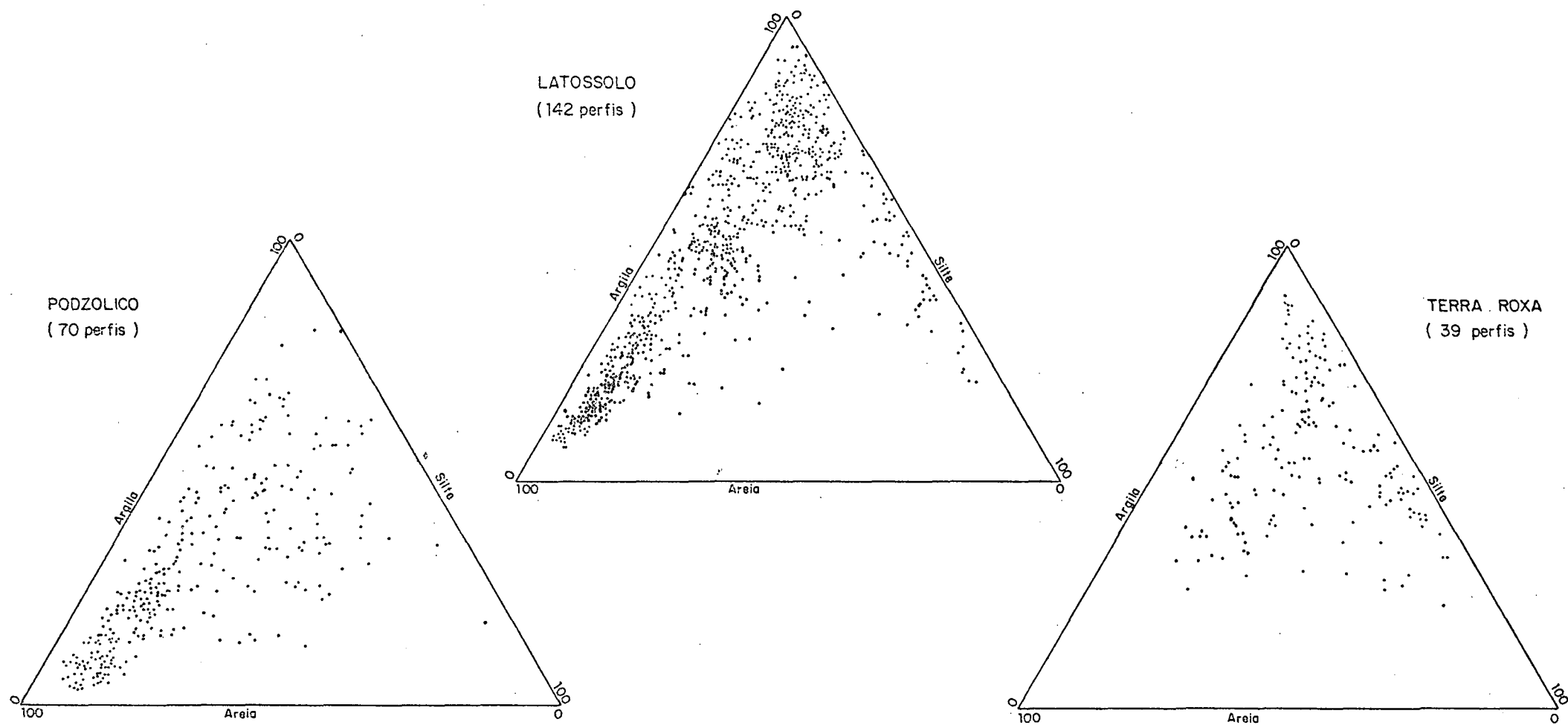
OBS: \*Codificado segundo o nomograma

K<sub>n</sub> = obtido pelo nomogramaK<sub>nc</sub> = ajustado para o sistema métrico (fator 1,292)K<sub>d</sub> = obtido por métodos diretos

Esses resultados mostram a inaplicabilidade de nomograma para a maioria dos solos estudados. Essa inadequação parece se originar das diferenças existentes entre as características dos solos utilizados para a confecção do nomograma em relação aos solos estudados, que se reflete num comportamento diferente diante das forças erosivas. Dentre as mais significativas estão talvez as granulométricas. A grande maioria dos solos utilizados por WISCHMEIER et alii (1969 e 1971)<sup>82, 85</sup> da região do Corn Belt, Estados Unidos, são de textura média, e muitos deles com altos e médios teores de silte, enquanto que os solos estudados, a exemplo de muitos solos brasileiros, possuem em geral baixos teores de silte e altos teores de areia e argila, como pode-se observar na figura 4, em que está indicada a textura de diferentes horizontes de 251 perfis de solos (Latossolos, Terras Roxas e Podzólicos) de diferentes regiões do Brasil. Esse fato leva a utilização do nomograma no extremo onde as curvas convergem, ou seja onde o efeito da característica considerada tem menor influência (figura 5).

Além disso, os coeficientes de correlação obtidos entre o fator K e o teor de silte mais areia muito fina, areia > 0,1 mm e matéria orgânica, os três fatores que determinam a primeira aproximação do fator K no nomograma, não foram significativos ao nível de 5%, o que reafirma a suposição inicial. Acrescentam-se ainda os resultados obtidos por EL-SWAIFY e DANGLER (1977)<sup>27</sup> para solos tropicais de Hawaí, que mostram uma baixa correlação entre a erodibilidade, a estrutura e a permeabilidade, que são os outros dos fatores utilizados no nomograma.

FIGURA 4 - TEXTURA DE ALGUNS SOLOS BRASILEIROS



FONTE: BRASIL. DER. NAC. PESQ. AGR. DIV. PESQ. PED. ( 1971 - 72 )

BRASIL. MIN. AGR. ESCR. PESQ. EXP. ( 1970 )

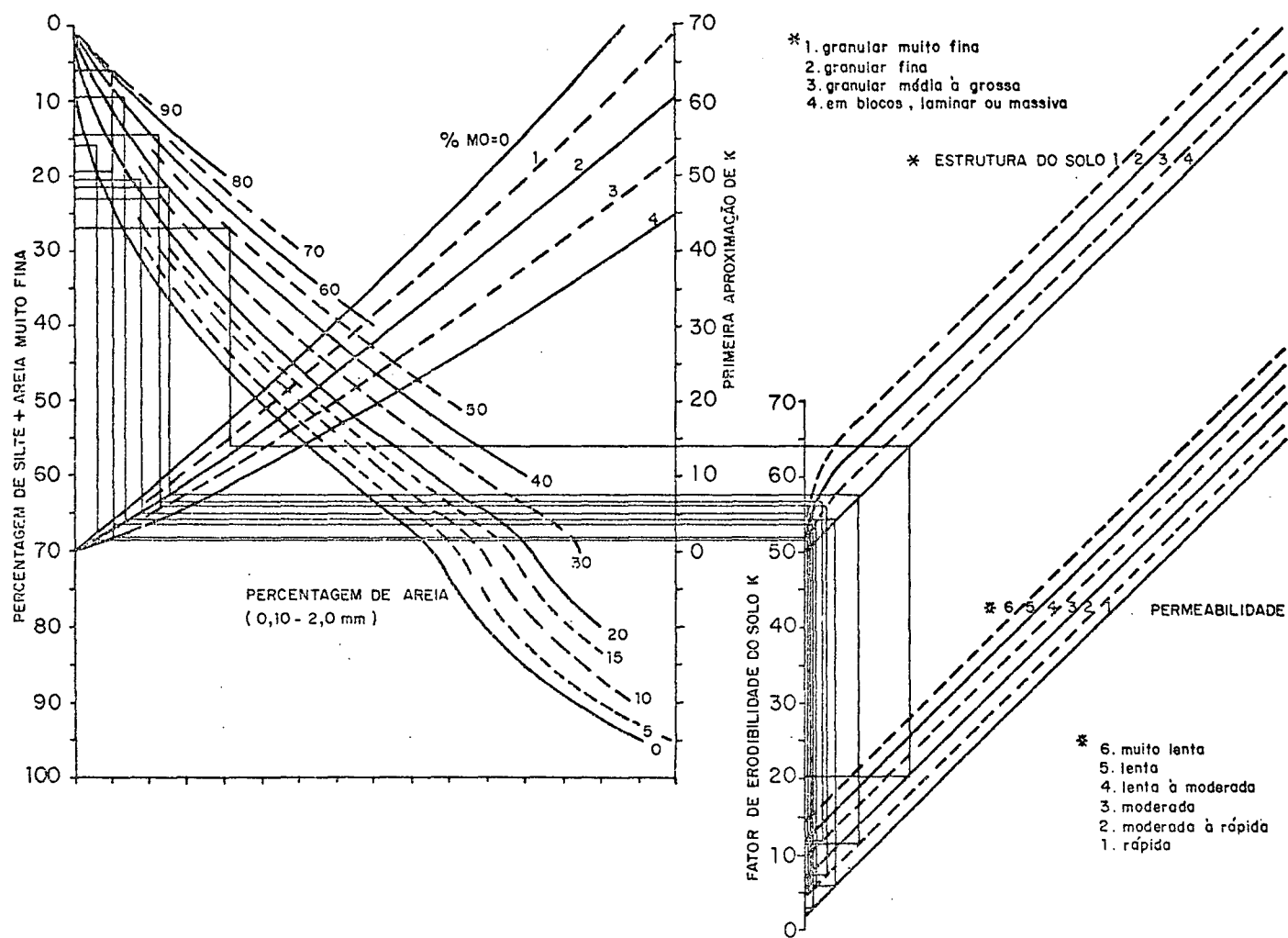
BRASIL. SERV. NAC. DE PESQ. AGR. ( 1958 )

BRASIL. SERV. NAC. DE PESQ. AGR. COM. SOLOS ( 1962 )

EMBRAPA ( 1960, 74, 75, 76, 77 )



FIGURA 5 - NOMOGRAMA DE ERODIBILIDADE DO SOLO



FONTE: WISCHMEIER ET ALII (1971)

### 3.7 CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS, A GRANULOMETRIA E A UMIDADE HIGROSCÓPICA

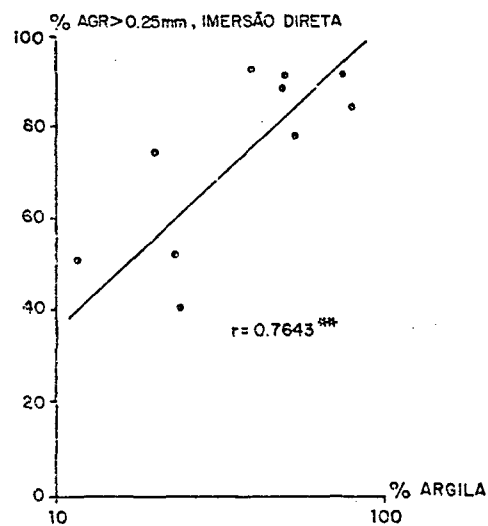
Neste trabalho foi realizada a correlação da estabilidade dos agregados com a granulometria e a umidade higroscópica. Os parâmetros texturais utilizados foram: argila, silte, areia total, areia grossa (2-0,5 mm), areia média e fina (0,5-0,1 mm), areia muito fina (0,1-0,05 mm) e silte mais areia muito fina (tabela 6).

Os coeficientes de correlação significativos ao nível de 1% e 5% estão indicados na tabela A.8. A sua análise mostra que na maioria dos casos esses coeficientes correspondem à correlação entre os parâmetros texturais e a umidade higroscópica com os agregados > 0,25 mm. As exceções são o teor de areia grossa e areia muito fina, que apresentam coeficientes significativos na correlação com o DMP, DMG, agregados > 4 mm, >2mm e >1 mm, no entanto esses coeficientes foram os mais baixos, com valores entre 0,56\* e 0,65\*, significativos ao nível de 5%.

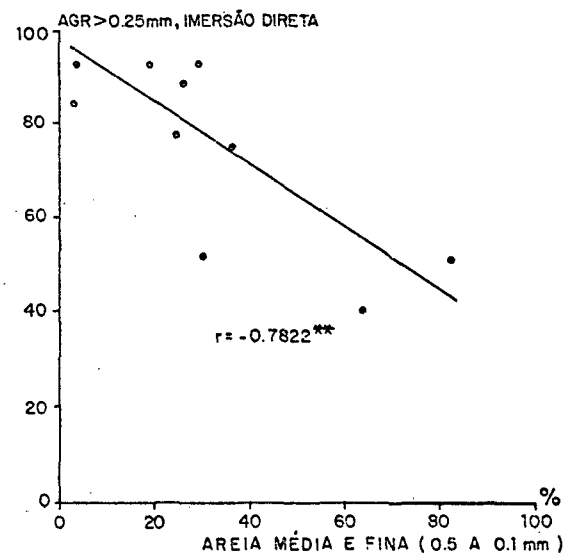
Os gráficos 10 a, b mostram um marcante aumento da estabilidade dos agregados com o incremento do teor de argila. Nas determinações com imersão direta os solos com menos de 25% de argila apresentam menos de 75% de agregados estáveis > 0,25mm, sendo que nas determinações a vácuo esta percentagem sobe para 90%. Uma correlação similar mas inversa é observada na relação dos agregados >0,25 mm com o teor de areia média e fina e areia total (gráficos 10c,d,e,f). Assim, nos solos com menos de 50% de areia total, a estabilidade dos agregados é maior de 75% e 90% para condições de imersão direta e vácuo, respectivamente. Se for considerada a areia média e fina, os solos com menos de 40% possuem uma percentagem de agregados estáveis > 0,25mm su-

GRÁFICO 10 - CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS, A GRANULOMETRIA E A UMIDADE HIGROSCÓPICA.

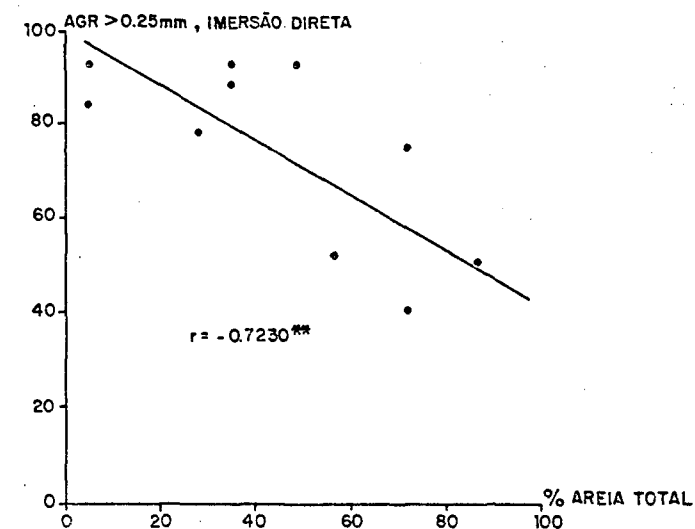
(a)



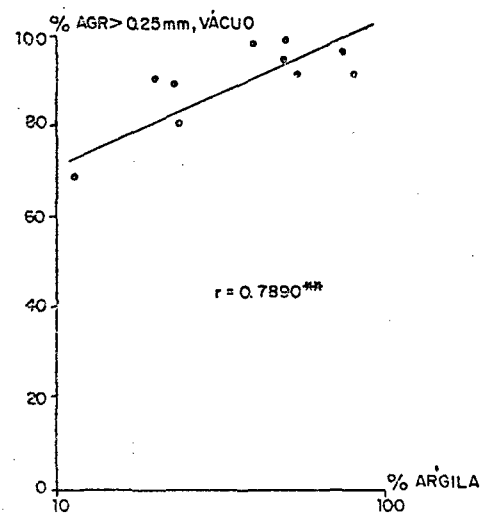
(c)



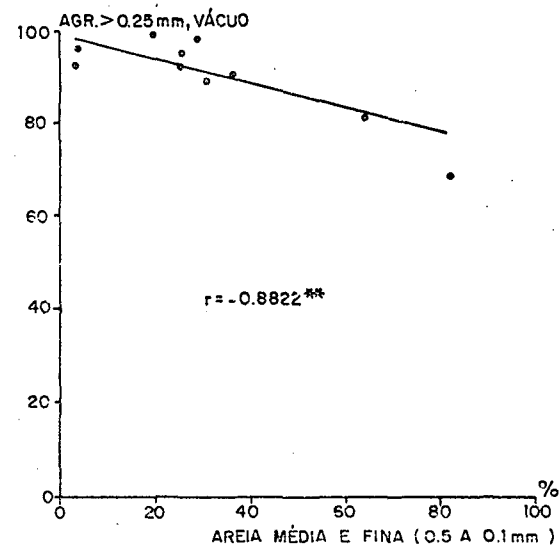
(e)



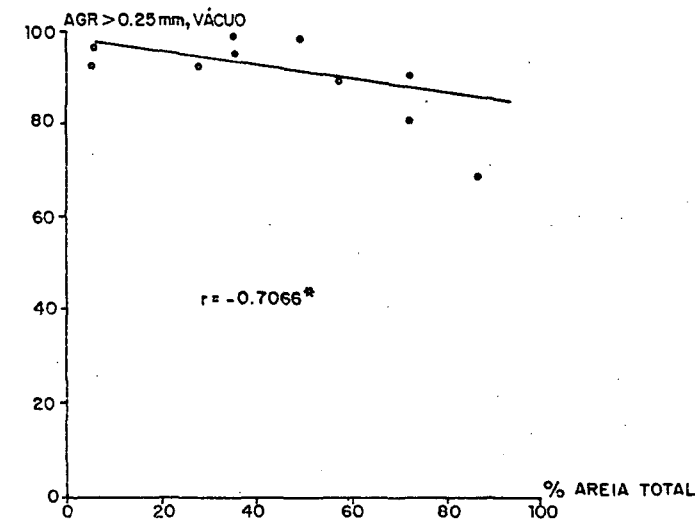
(b)



(d)



(f)



perior a 70% para condições de imersão direta e a 85% para condições de vácuo.

Os teores de silte e silte mais areia muito fina apresentaram uma correlação direta com a estabilidade dos agregados  $> 0,25$  mm (gráficos 10g,h,i,j).

Esses resultados, ao serem comparados aos obtidos para solos de outras regiões, observa-se que são similares aos obtidos por BRIONES e VERACION (1965)<sup>15</sup> para Latossolos com alto grau de agregação da Ilha de Luzon, sendo que a correlação obtida foi com os agregados estáveis  $> 2$  mm. Estes autores indicam que os solos com 50% ou mais de argila parecem estar associados a um alto grau de estabilidade, mas esse estado físico não pode ser explicado, segundo os autores, só pelo aumento na concentração de argila. Também TOOGOOD (1978)<sup>70</sup> encontrou uma forte correlação entre o DMP e o teor de argila para os solos de Alberta, Canadá, enquanto que LUGO LOPEZ e PÉREZ ESCOLLAR (1969)<sup>48</sup> não encontraram correlação significativa para Vertissolos de Porto Rico, a exemplo de CHAKRABARTI (1971)<sup>22</sup> para solos do Leste de Nepal.

Quanto ao teor de silte, chama a atenção o valor positivo do coeficiente, indicando uma correlação direta com a estabilidade. No entanto, esses dados devem ser considerados com reservas, dado os baixos teores de silte dos solos estudados (2% a 20%) e a correlação entre o teor de silte e argila (0,6159 \*) (gráfico 11). Assim, os coeficientes de correlação entre silte e estabilidade de agregados podem ser um reflexo da relação estabilidade/argila, devido à ligação entre os dois parâmetros texturais, mais que um efeito real do silte sobre a estabilidade dos agregados.

A análise dos coeficientes de correlação entre as características texturais e a estabilidade dos agregados determinada com imersão direta e a vácuo revela que na maioria dos casos os coeficientes são mais altos para as determinações a vácuo. Na correlação com a argila, o coeficiente aumenta de 0,76\*\* para 0,79\*\*, no silte de 0,65\* para 0,88\*\*, na areia média e fina de -0,78\*\* para 0,88\*\* e no silte mais areia muito fina de 0,62\* para 0,90\*\*.

Esse fato indica que os parâmetros texturais explicam melhor a estabilidade de agregados quando se elimina um importante fator de desagregação, que é o efeito do ar retido nos poros, que atua quando os agregados são submersos à pressão atmosférica. As exceções foram os coeficientes de correlação entre areia total e os agregados > 0,25 mm, que apresetam um valor ligeiramente inferior para as determinações a vácuo.

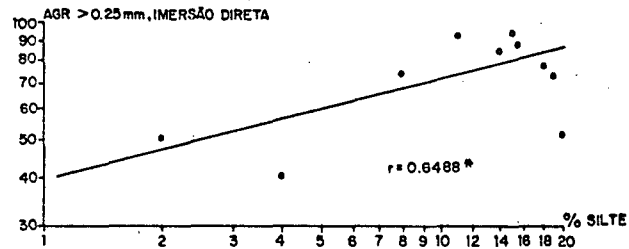
A umidade higroscópica apresentou um coeficiente de correlação de 0,81\*\* com os agregados estáveis > 0,25mm, determinados a vácuo, evidenciando a relação entre a capacidade de retenção de água e a estabilidade dos agregados (gráfico 10 l,m).

### 3.8 CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS E AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

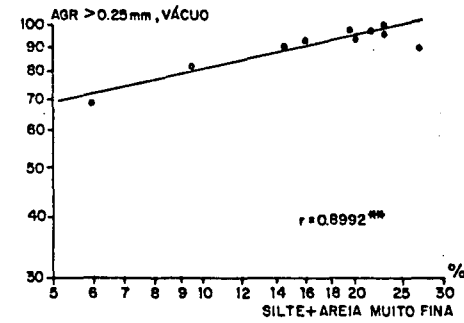
As características químicas do solo, apresentadas na tabela 8, foram correlacionadas com a estabilidade dos agregados em água e resistência ao impacto da gota. Os parâmetros químicos testados foram pH em água, pH em KCl e  $\Delta pH$  (pH em KCl - pH em  $H_2O$ ) teores de alumínio, cálcio mais magnésio, hidrogênio e potássio trocáveis; fósforo assimilável e carbono orgânico. A estabilidade dos agregados em água foi representada de seis for-

GRÁFICO 10 - CORRELAÇÃO ENTRE A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS, A GRANULOMETRIA E A UMIDADE HIGROSCÓPICA.

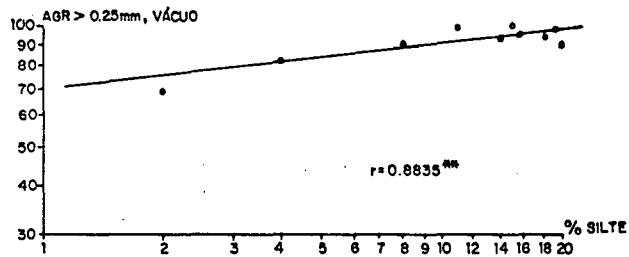
(g)



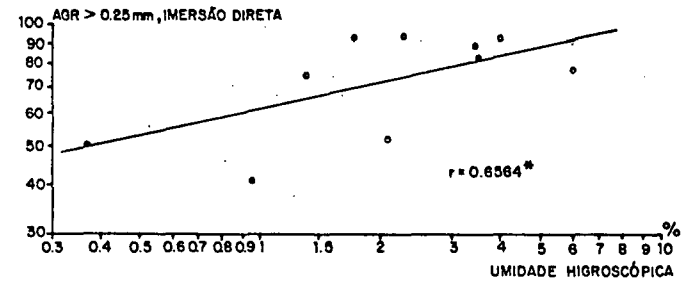
(j)



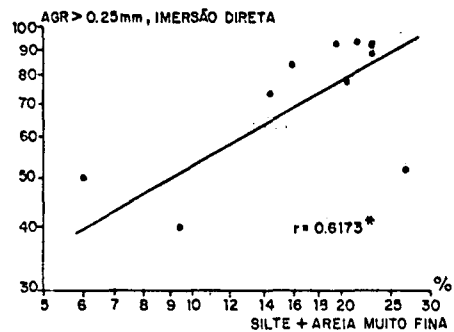
(h)



(i)



(l)



(m)

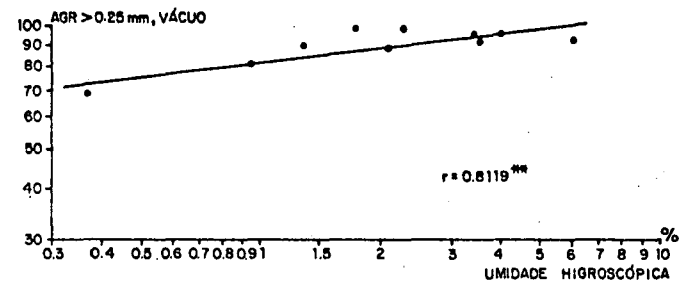
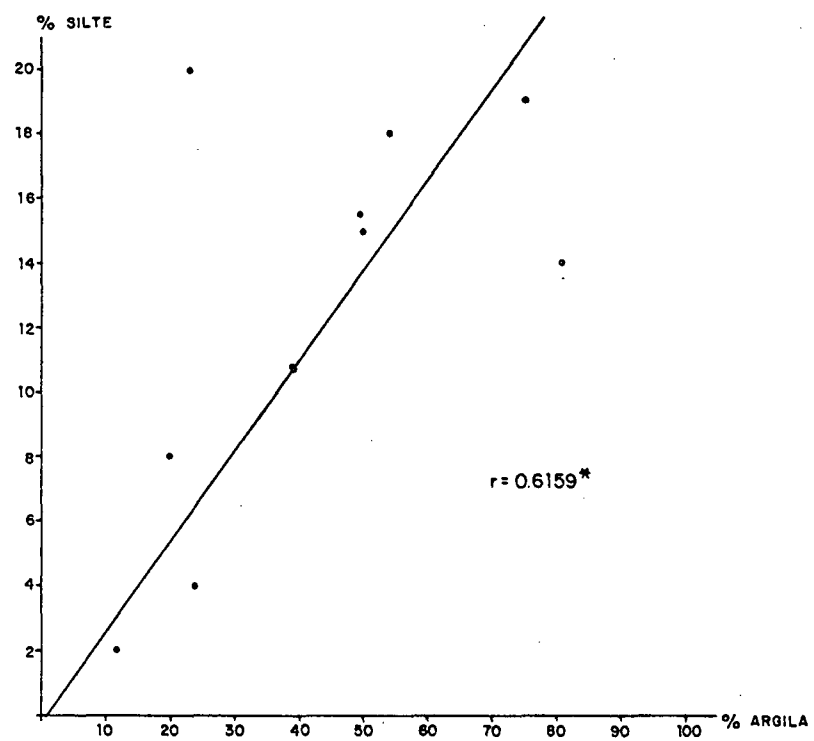


GRÁFICO 11- CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE SILTE E ARGILA.



mas diferentes ( DMP, DMG, agregados  $> 4\text{mm}$ ,  $>2\text{mm}$ ,  $>1\text{mm}$  e  $> 0,25\text{ mm}$ ) e a sua resistência ao impacto da gota como coeficiente G.

As correlações lineares simples foram realizadas entre cada característica química e a estabilidade dos agregados, entre as características químicas e o logaritmo da estabilidade de agregados, entre o logaritmo das características químicas e a estabilidade de agregados, e entre os logaritmos.

A maioria dos coeficientes obtidos não foi significativa ao nível de 5%. As únicas características que apresentaram coeficientes significativos ao nível de 1% e 5% foram o teor de carbono orgânico, quando correlacionado com os agregados  $> 0,25\text{ mm}$ , e pH em água e  $\Delta\text{pH}$ , quando correlacionados com o coeficiente G (tabela A.9).

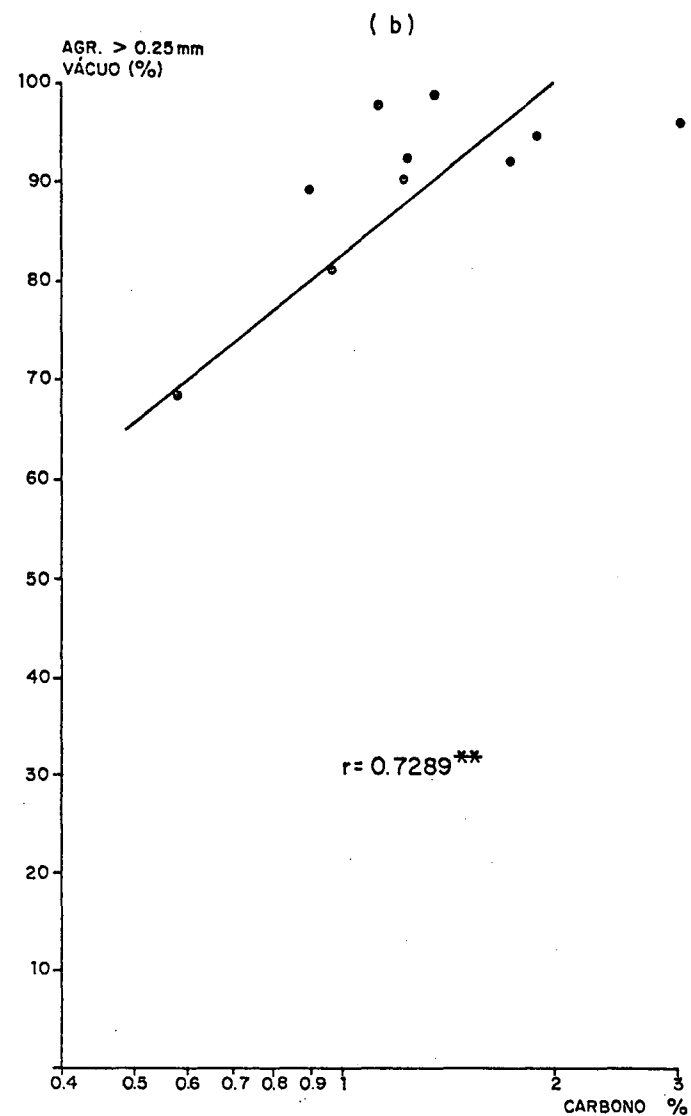
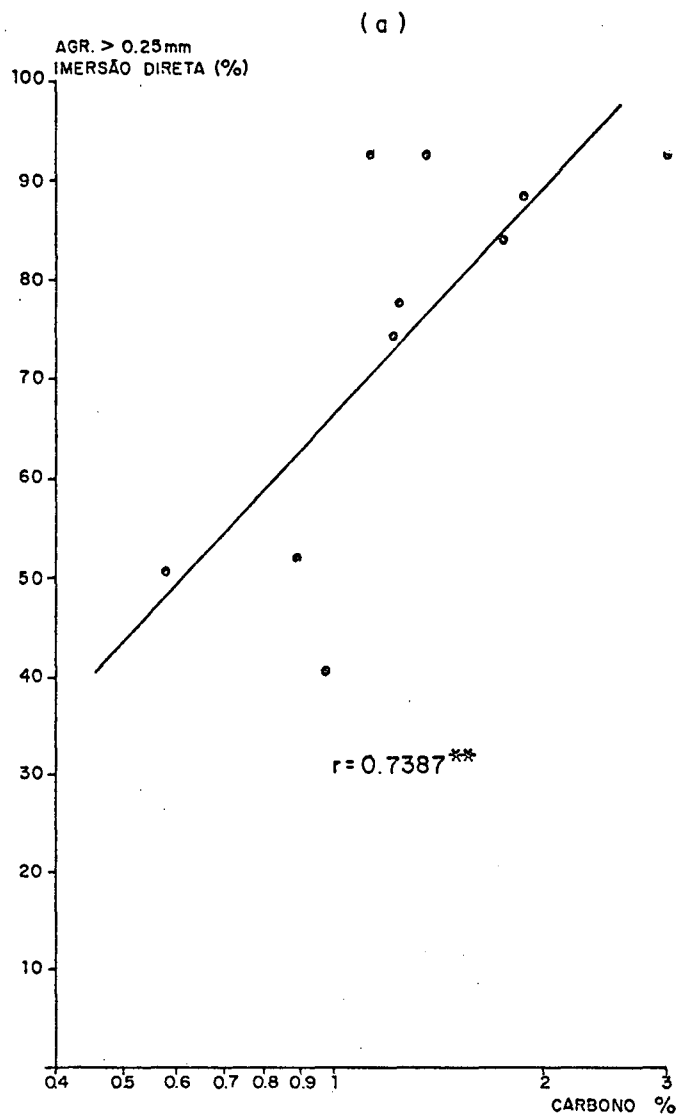
### 3.8.1 Matéria Orgânica

A matéria orgânica e o teor de carbono orgânico é uma das propriedades químicas do solo que freqüentemente têm sido relacionada, com a agregação do solo (BROWNING, 1937<sup>16</sup>; PEELE et alii, 1938<sup>58</sup>; ELSON e LUTZ, 1940<sup>26</sup>; ALDERFER e MERKLE, 1941<sup>1</sup>; BRIONES e VERACION, 1965<sup>15</sup>; PÉREZ ESCOLAR e LUGO LÓPEZ, 1968<sup>59</sup>; LUGO LÓPEZ e PÉREZ ESCOLAR, 1969<sup>48</sup>; CHAKRABARTI, 1971<sup>22</sup>; BAVER et alii 1972<sup>4</sup> e TOOGOOD, 1978<sup>70</sup>). Em geral, os autores concordam sobre a existência de uma relação direta entre as duas características.

Na correlação entre o teor de carbono e os agregados estáveis  $> 0,25\text{ mm}$  nos solos estudados, os coeficientes maiores foram obtidos na correlação entre os logaritmos e entre o logaritmo do teor de carbono e a percentagem de agregados  $>0,25\text{ mm}$ , que foram significativas ao nível de 1% (tabela A.9 e gráfico 12 a,b).



GRÁFICO 12 - CORRELAÇÃO ENTRE O TEOR DE CARBONO E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS



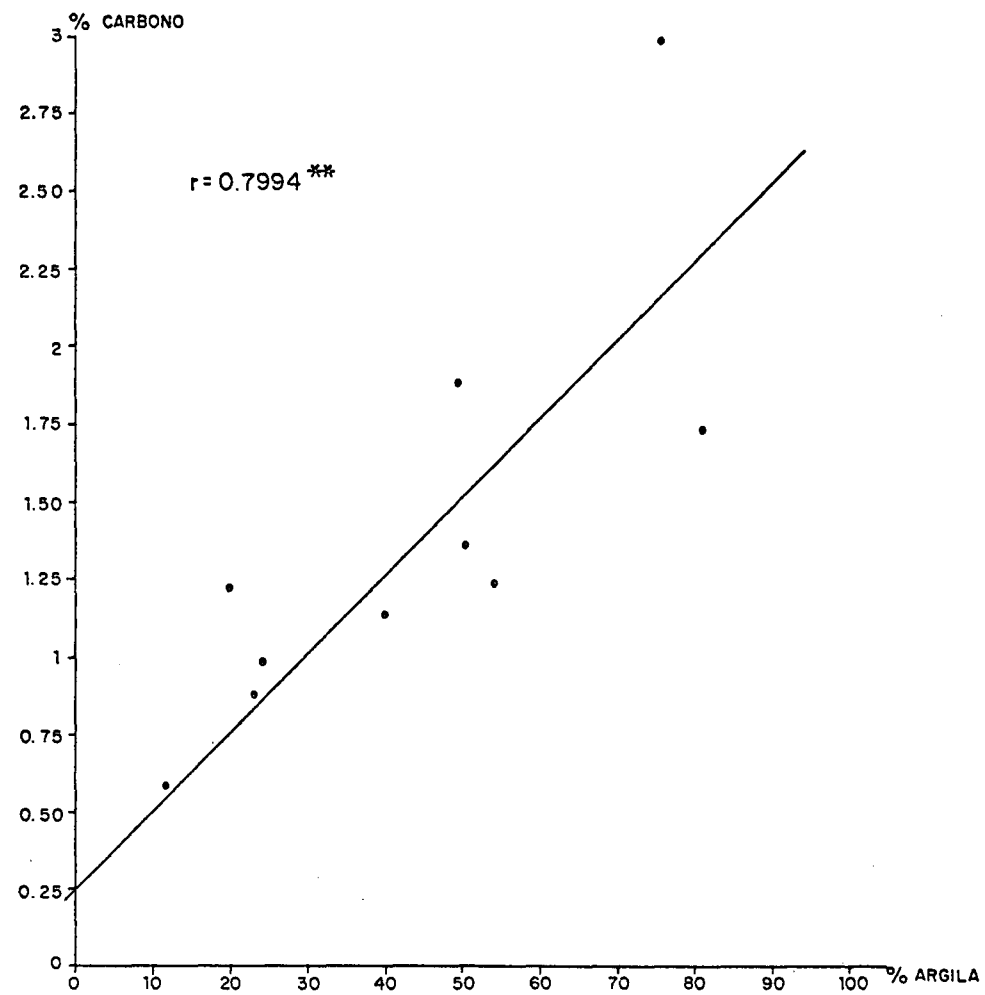
A correlação mostra que a estabilidade dos agregados >0,25 mm aumenta com o incremento do teor de carbono ou da matéria orgânica. Nos resultados dos testes realizados com a imersão dos agregados à pressão atmosférica, observa-se que os solos que têm 2% ou mais de matéria orgânica (1,16%C), a estabilidade dos agregados > 0,25 mm é sempre superior a 75%, enquanto que nas determinações a vácuo para o mesmo teor de matéria orgânica, a estabilidade dos agregados aumenta para 90%.

Analizando os coeficientes de correlação entre o teor de carbono e estabilidade dos agregados em diferentes tamanhos (tabela A.10), observa-se que a correlação diminui à medida que são considerados agregados numa fração maior.

Embora os coeficientes obtidos resultem significativos ao nível de 5% e até 1%, é importante considerar os resultados obtidos por ELSON e LUTZ (1940)<sup>26</sup>, que no estudo dos fatores que afetam a agregação do solo, concluíram que a condição da matéria orgânica é mais importante que seu total. Isso porque os humatos de Ca e Mg são agentes de agregação menos eficientes que os humatos de H, Fe e Al.

Observando-se a correlação entre os agregados estáveis e o conteúdo de argila do solo (gráfico 10 a,b), encontra-se uma relação similar à relação com o teor de carbono. Existe ainda uma alta correlação (0,7994\*\*) entre essas duas últimas características o que dificulta a discriminação do efeito de cada parâmetro na agregação do solo (gráfico 13). Os resultados obtidos por BRIONES e VERACION (1965)<sup>15</sup> mostram que as pendentes das retas de regressão simples e múltiplas, em relação à estabilidade dos agregados, são mais altas para a matéria orgânica que para o teor de argila, no entanto, como seu teor excede à

GRÁFICO 13 - CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE CARBONO E ARGILA



primeira, existe uma maior contribuição da argila no sentido de explicar a estabilidade dos agregados que o teor de matéria orgânica.

### 3.8.2 Correlação entre o pH em Água, o $\Delta pH$ e o Coeficiente de Resistência dos Agregados ao Impacto da Gota

A correlação entre o pH em água e o coeficiente de resistência dos agregados ao impacto da gota (G) indica que um aumento da acidez do solo aumenta a estabilidade de agregados (gráfico 14).

Na correlação entre o pH em água e a estabilidade dos agregados determinada por peneiramento, também se observa esta tendência, pois todos os coeficientes, embora não significativos ao nível de 5%,\* apresentaram valor negativo. Isso indica que a acidez aumenta junto com a estabilidade dos agregados.

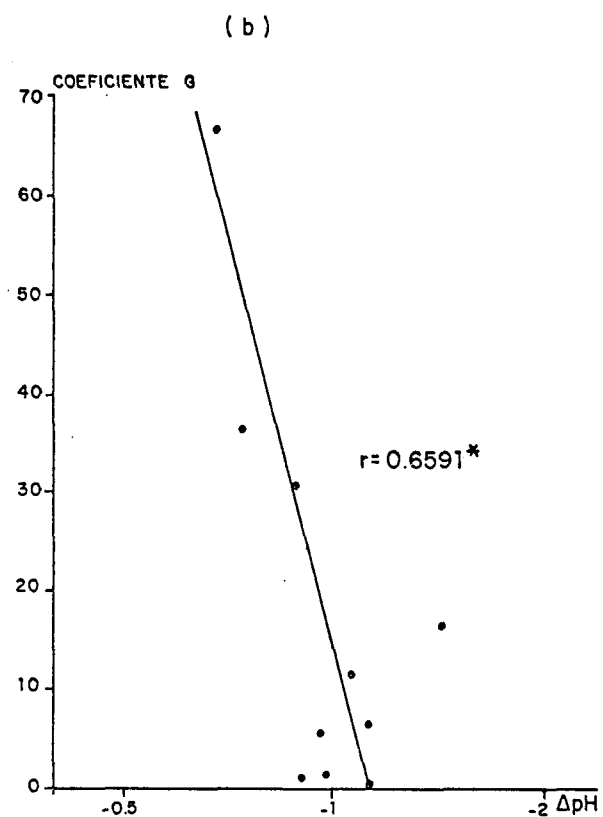
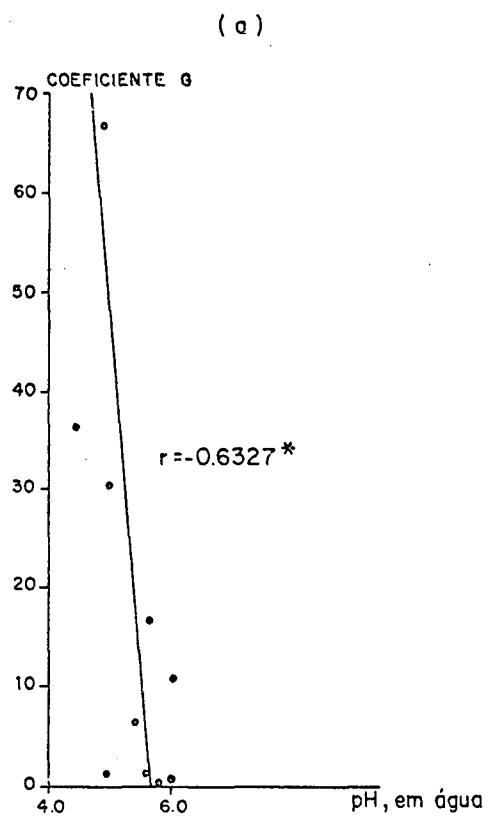
Esse comportamento pode estar associado ao poder mais efetivo de agregação dos humatos de ferro alumínio e hidrogênio, que os de cálcio e magnésio (ELSON e LUTZ, 1940)<sup>26</sup> de cujo comportamento no solo é reflexo o pH.

A correlação entre o  $\Delta pH$  e o coeficiente G indica a relação entre a carga líquida do solo e a resistência dos agregados ao impacto da gota.

Segundo TAMA (1975), citado por EL-SWAIFY e DANGLER (1977)<sup>27</sup>, o pH pode ser negativo, zero ou positivo para solos com carga líquida negativa, zero ou positiva, respectivamente. No entanto, é a magnitude mais que o sinal do  $\Delta pH$  que está fortemente relacionada com a estabilidade estrutural. A máxima

\*A maioria dos coeficientes deu valores em torno de -0,40, e os valores mais altos em torno de -0,48 significativos ao nível de 8%.

GRÁFICO 14 - CORRELAÇÃO ENTRE O pH EM ÁGUA (a) , O  $\Delta pH$  (b) E O COEFICIENTE DE RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA (G).



estabilidade estrutural deveria ocorrer a  $\Delta pH = 0$ , com igualdecrêscimo na estabilidade para iguais incrementos ou decrêscimos do  $\Delta pH$ .

Nos solos estudados, todos os  $\Delta pH$  são negativos, verificando-se uma diminuição da resistência dos agregados ao impacto da gota com a diminuição do  $\Delta pH$ .

## CONCLUSÕES

Os estudos sobre as relações entre a erodibilidade de solos brasileiros e as características de agregação e outras características do solo conduziram as seguintes conclusões gerais:

- a) a agregação do solo determinada através da estabilidade dos agregados em água e resistência ao impacto da gota foi a característica, dentre as estudadas, que melhor se correlacionou com a erodibilidade do solo (fator K) determinada por métodos diretos;
- b) o nomograma de WISCHMEIER et alii (1971)<sup>85</sup> fornece valores do fator K divergentes dos obtidos pelos métodos diretos.

Ao se abordar aspectos específicos, conclui-se que:

- a) quanto à relação da erodibilidade com as outras características do solo;
  - i) a melhor correlação do fator K se verificou com a resistência dos agregados ao impacto da gota (coeficiente G), com um coeficiente de correlação de 0,72\*\*;
  - ii) a correlação com a estabilidade dos agregados foi ligeiramente inferior nas determinações com imersão direta e a vácuo, mas os coeficientes foram sempre significativos ao nível de 5% e os mais altos foram geralmente verifica-

dos para a correlação entre o fator K e a média dos valores obtidos com imersão direta e a vácuo e representados como DMP e agregados > 1 mm;

- iii) as correlações entre o fator K e os parâmetros texturais não foram, de modo geral, significativas ao nível de 5%. A causa desses baixos coeficientes se relaciona ao comportamento diferencial dos solos argilosos, particularmente os de textura argila pesada (LR-PR e LV-PR);
- iv) os coeficientes indicam que o silte e a areia < 0,5 mm são as frações granulométricas que mais favorecem a erosão do solo, enquanto que a areia > 0,5 mm não teria esse comportamento devido à maior massa das partículas;
- v) o comportamento dos solos de textura argilosa parece indicar que a erosão desses se processa principalmente na forma de pequenos agregados;
- vi) o efeito do silte mais areia muito fina no aumento da erodibilidade dos solos estudados aparentemente começa a se manifestar quando o teor desse parâmetro atinge valor em torno de 18%;
- vii) a umidade higroscópica não apresentou correlação significativa com o fator K;
- viii) as características químicas não apresentaram coeficientes de correlação significativos com a erodibilidade do solo;



- ix) o carbono orgânico dos solos não argilosos apresenta uma correlação inversa com o fator K ( $-0,9686^{**}$ ), mas o escasso número de determinações (cinco) tornam esse resultado inconsistente;
  - x) a inadequação do nomograma de WISCHMEIER et alii (1971)<sup>85</sup> parece se originar das diferenças existentes entre as características, principalmente as texturais, dos solos utilizados para sua confecção e os solos estudados;
  - xi) devido à representatividade dos solos estudados, é de se esperar a inaplicabilidade do nomograma para a grande maioria dos solos brasileiros.
- b) quanto à relação da agregação com as outras características do solo:
- i) a melhor correlação entre os parâmetros texturais e a umidade higroscópica geralmente foi obtida quando a estabilidade estava representada como agregados  $> 0,25$  mm e determinada com imersão a vácuo;
  - ii) a estabilidade dos agregados aumenta acentuadamente com o incremento do teor de argila e decréscimo de areia média e fina e areia total;
  - iii) a correlação entre a estabilidade de agregados e o teor de silte deve ser considerada com reservas em virtude dos baixos teores desse parâmetro. Essa relação é provavelmente um

reflexo da relação estabilidade dos agregados/argila, mais do que um efeito real do silte sobre a estabilidade;

iv) a umidade higroscópica mostrou uma alta correlação com a estabilidade dos agregados;

v) o teor de carbono orgânico apresentou uma correlação direta similar à existente entre a estabilidade dos agregados e a argila. Entretanto, a existência de uma alta correlação entre o teor de carbono e argila dificulta a discriminação do efeito de cada parâmetro sobre a estabilidade dos agregados;

vi) a correlação com o pH em água indica um aumento da estabilidade inversamente proporcional ao pH;

vii) a correlação com o  $\Delta pH$  mostra que a resistência dos agregados ao impacto da gota diminui junto com a carga líquida.

c) quanto aos testes de determinação de estabilidade e resistência dos agregados ao impacto da gota:

i) a determinação da estabilidade com imersão a vácuo é menos variável que a determinação com imersão à pressão atmosférica;

ii) alguns solos apresentam aumento da estabilidade dos agregados nos testes realizados com um mês ou mais de diferença entre as repetições;

iii) os agregados  $> 2$  mm e  $> 1$  mm podem ser utilizados na caracterização da estabilidade dos

agregados tão bem quanto as formas mais complexas utilizadas (DMP e DMG);

- iv) todos os solos apresentaram diferentes graus de aumento da estabilidade dos agregados ao se eliminar o efeito do ar retido nos poros durante a imersão a vácuo;
- v) o teste de resistência dos agregados ao impacto da gota mostrou uma alta variabilidade, devida à existência de agregados com diferentes resistências na mesma amostra, mostrando a necessidade de aumentar o número de agregados de cada repetição;
- vi) alguns solos apresentaram uma suscetibilidade maior à desagregação provocada pelas forças de abrasão que atuam no peneiramento, do que pelo impacto das gotas.

## RECOMENDAÇÕES

Os estudos permitiram verificar a necessidade de se promoverem pesquisas mais amplas a respeito da relação entre a estabilidade e resistência dos agregados e a erodibilidade para que se possa estimar melhor o fator K para solos brasileiros.

Essas pesquisas deveriam ser orientadas no sentido de acompanhar a evolução da estabilidade e resistência dos agregados nas parcelas experimentais de determinação da erodibilidade com chuva natural e simulada, e estudar suas inter-relações. A agregação, por sua vez, deveria ser estudada a um nível mais detalhado, com amostras de camadas de poucos centímetros e formas de amostragens mais controladas.

Existe ainda a necessidade de aumentar o número de solos com determinações de K por métodos diretos com a finalidade de se obter dados suficientes para efetuar tratamentos estatísticos mais complexos, como regressões múltiplas, que possibilitem a elaboração de um método para estimar, de forma indireta, o fator K dos solos brasileiros, ferramenta básica para o planejamento conservacionista.

## RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é estudar as relações existentes entre a erodibilidade de 10 solos brasileiros, determinada por métodos diretos, e as características de agregação do solo, analisando-se também sua relação com a granulometria, a umidade higroscópica e as características químicas: pH em água, pH em KCl e  $\Delta$ pH; teores de alumínio, cálcio mais magnésio, hidrogênio e potássio trocáveis; fósforo assimilável e carbono orgânico. Relaciona ainda os fatores K obtidos por métodos diretos e obtidos através do nomograma elaborado por WISCHMEIER et alii (1971).<sup>85</sup>

Foi necessário efetuar uma padronização, dos fatores K obtidos por métodos diretos dos diferentes solos estudados, para atingir os objetivos propostos.

Para caracterizar a agregação do solo foram realizadas análises históricas dos diferentes métodos usados para determinar a estabilidade e resistência dos agregados e uma análise e comparação das formas de representação desse parâmetro. Na determinação da estabilidade dos agregados foram escolhidos dois testes o de peneiramento em água com imersão à pressão atmosférica e com imersão a vácuo, cujos resultados foram representados de seis formas: Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG), Agregados >4mm, >2mm, >1mm e >0,25mm. Realizou-se também um teste de resistência dos agregados ao impacto da gota, elaborando-se um coeficiente (G) para a re-

apresentação dos resultados.

A estabilidade e resistência dos agregados também foram posteriormente correlacionados às características que tinham sido relacionadas à erodibilidade.

Os resultados mostram que a agregação do solo determinada como estabilidade dos agregados em água e resistência ao impacto da gota é a característica que melhor se correlaciona com a erodibilidade do solo (fator K), obtida por métodos diretos. Também se verificou que o nomograma de WISCHMEIER et alii (1971),<sup>85</sup> fornece valores do fator K divergentes dos obtidos pelos métodos diretos.

Esses resultados salientam ainda a necessidade de se promoverem pesquisas mais amplas a respeito da relação entre a estabilidade e resistência dos agregados e a erodibilidade para que se possa melhor estimar o fator K para solos brasileiros, de forma indireta.

## SUMMARY

This work aims primarily at studying the relationship between the erodibility (K factor) of 10 Brazilian soils as determined by field procedures, and the aggregation properties of the soil. Also considered were the relationship of K with particle size distribution, residual moisture, and some chemical properties: pH in water, pH in KCl and  $\Delta$ pH; exchangeable amounts of aluminium, calcium plus magnesium and hydrogen; available phosphorus and organic carbon.

Furthermore, it relates K factors obtained by field procedures with those obtained by the WISCHMEIER et alii (1971) nomograph.

It was necessary to analyse, select and standardize the K factor obtained by field procedures in order to reach the proposed objectives.

In order to characterize the soil aggregation, a background analyses was done on the different methods used to measure aggregate stability and resistance, as well as a comparative analyses on the ways of expressing the results.

Aggregate stability was measured by wet sieving with immersion under atmospheric pressure and under partial vacuum. Results were expressed as mean weight diameter, mean geometric diameter, aggregates greater than 4mm, 2mm, 1mm and 0.25mm. Aggregate resistance to water drop impact was also assessed, the results being expressed as a coefficient.

Aggregate stability and resistance were further correlated to the same properties that were used to analyse the relationship with erodibility.

The results show that soil aggregation as assessed by aggregate stability in water and resistance to water drop impact, is the property that better correlates with the soil erodibility (K factor) obtained by field procedures. It was also verified that the WISCHEMEIER nomograph furnishes K factors diverse of those obtained by field procedures.

The results also emphasize the need for broader studies on the relationship among aggregate resistance and stability, and the erodibility as a way to better estimate the K factor by indirect means for Brazilian soils.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ALDERFER, R.B. & MERKLE, F.G. The measurement of structural stability and permeability and the influence of soil treatments upon these properties. Soil Science, 51 (3):201-12, Mar. 1941
02. BARNETT, A.P.; et alii Erodibility of selected tropical soils. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, 11 (3): 496-9, 1971.
03. BARNETT, A.P.; TYSON, B.L.; MCGINNIS, J.T. Soil erodibility in relation to soil and site properties. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1., São Paulo, 1966. Anais... São Paulo, Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, 1966. p. 83-91.
04. BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil physics. New York, J. Wiley & Sons, 1972. 498 p.
05. BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco; BENATTI JÚNIOR, Romeu. Equação de perdas de solo. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1975. 25p. (Boletim Técnico, 21)
06. BISCAIA, R.C.M.; RUFINO, R.L.; HENKLAIN, J.C. Cálculo de erodibilidade (fator K) de dois solos do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 5 (3):183-6, set./dez. 1981.
07. BOUYOUCOS, G.J. The ultimate natural structure of soils. Soil Science, Baltimore, 28 (1):27-37, July 1929.
08. BOWLES, J.E. Grain size analysis: hydrometer method. In: Engineering properties of soils and their measurement. 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1978. p.47-59.
09. BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedalógica. Estudo expedito dos solos no Estado do Espírito Santo, norte do Paraná e sul do Mato Grosso para fins de classificação e correlação. Recife, 1972. (Boletim técnico, 20)
10. Levantamento de reconhecimento dos solos do sul do Estado de Mato Grosso. Rio de Janeiro, 1971. (Boletim técnico, 18)
11. BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisas e Experimentação. Levantamento exploratório dos solos da região sob influência da Cia. Vale do Rio Doce. Rio de Janeiro, 1970. (Boletim técnico, 13)

12. BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina; 1ª etapa, zonas Oeste e Rio do Peixe. Florianópolis, 1970. Acordo UFSM/SUDESUL/ Secretaria da Agricultura do Estado de Santa Catarina.
13. BRASIL. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal; contribuição à carta de solos do Brasil. Rio de Janeiro, 1958. (Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 11)
14. \_\_\_\_\_. Comissão de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos da região sob influência do reservatório de Furnas; contribuição à carta de solos. Rio de Janeiro, 1962. (Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 13)
15. BRIONES, A.A. & VERACION, J.G. Aggregate stability of some red soils of Luzon. The Philippine Agriculturist, Laguna, 42:153-67, 1965.
16. BROWNING, G.M. Changes in the erodibility of soils brought about by the application of organic matter. Soil Science Society of América Proceedings, 2:85-96, 1937.
17. BROWNING, G.M.; RUSSEL, M.B.; McHENNEY, J.R. A comparison of methods for determining and expressing soil aggregation data. Soil Science Society of America Proceedings Morgantown, 8:91-6, 1944.
18. BRYAN, Rorke B. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. Geoderma, Amsterdam, 2:5-26, 1968/1969.
19. BRYANT, J. C.; BENDIXEN, T.W.; SLATER, C.S. Measurement of the water-stability of soils. Soil Science, 65 (4):341-5, Apr. 1948.
20. CASSOL, Elemar Antonino; ELTZ, Flávio Luiz Foletto; GUERRA, Mário. Erodibilidade do solo "São Jerônimo" (Laterítico Bruno Avermelhado distrófico) determinada com simulador de chuvas; resultados preliminares. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, abr. 24-28, 1978. Anais... Passo Fundo, EMBRAPA, 1978. p.203-7.
21. \_\_\_\_\_. Erodibilidade do Solo "São Jerônimo" (Laterítico Bruno Avermelhado distrófico) determinada com simulador de chuvas. s.n.t. Trabalho apresentado no III Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, Recife, 28 jul.-02 ago. 1980.
22. CHAKRABARTI, D.C. Investigation on erodibility and water stable aggregates of certain soils of eastern Nepal. Journal of the Indian Society of Soil Science, 19 (4):441-6, 1971.
23. CONAWAY JR., A.W. & STRICKLING, E. A comparison of selected methods for expressing soil aggregate stability. Soil Science Society of América Proceedings, Daville, Illinois, 26 (5): 426-30, Sept./Oct. 1962.
24. DANGLER, E. W. et alii. Erodibility of selected Hawaii soils by

rainfall simulation. s.l., United States Department of Agriculture, s.d. 113p.

25. DI CASTRI, Francisco. La revolución ecológica y América Latina. Valdivia, Instituto de Ecología da Universidade de Austral, 1970.
26. ELSON, J. & LUTZ, J.F. Factors affecting aggregation of Cecil soils and effect of aggregation on run-off and erosion. Soil Science, 50 (3): 265-75, Sept. 1940.
27. EL-SWAIFY, S.A. & DANGLER, E.W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMÉRICA. Soil erosion prediction and control. Ankeny, 1977. p.105-4 (Special publication, 21)
28. ELTZ, F.L.F. et alii. Perdas por erosão em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno Avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural; resultados dos primeiros cinco anos. s.n.t Trabalho apresentado no III Encontro Nacional da Pesquisa sobre Conservação do Solo, Recife, 28 jul.-02 ago. 1980.
29. EMBRAPA. Estudo expedito de solos da área norte de Minas Gerais para fins de classificação, correlação e legenda preliminar. Recife, 1976. (Boletim técnico, 46)
30. \_\_\_\_\_. Levantamento de reconhecimento dos solos do litoral do Estado do Paraná; área 11 informe preliminar. Curitiba, 1977, 128 p. (EMBRAPA. Boletim técnico, 54; IAPAR. Boletim técnico, 9) Convênio: SUDESUL, EMBRAPA, Governo do Estado do Paraná, IAPAR.
31. \_\_\_\_\_. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 1979
32. \_\_\_\_\_. Centro de Pesquisas Pedológicas. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, 1960. (Boletim técnico, 12)
33. \_\_\_\_\_. Levantamento de reconhecimento dos solos do sudoeste do Estado do Paraná; 1ª parte (informe preliminar) Curitiba, 1974. 150p. (Boletim técnico, 40)
34. \_\_\_\_\_. Mapa esquemático dos solos das regiões Norte, Meio Norte e Centro Oeste do Brasil. Rio de Janeiro, 1975. (Boletim técnico, 17)
35. FALAYI, O. & LAL, R. Effect of aggregate size and mulching on erodibility, crusting, and crop emergence. In: LAL, R. & GREENLAND, D. J., ed. Soil physical properties and crop production in the tropics. New York, J. Wiley & Sons, 1979. c.2.4, p.88-93.
36. FREIRE, O. & PESSOTTI, J.E. Erodibilidade de alguns solos de Piracicaba-SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, abr. 24-28, 1978. Anais... Passo Fundo, EMBRAPA, 1978. p.185-92.

37. \_\_\_\_\_. Erodibilidade dos solos de Piracicaba. Revista de Agricultura, 51 (3/4): 195-202, dez. 1976.
38. Fundação IPARDES. Meio ambiente e recursos naturais da Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 1980.
39. GARDNER, W.R. Representations of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. Soil Science Society of América Proceedings, Madison, 20 (2): 151-3, Abr.1956.
40. GISH, R. E. & BROWNING, G.M. Factors affecting the stability of soil aggregates. Soil Science Society of América Proceedings Madison, 13: 51-5, 1948.
41. HARIDASAN, M. & CHIBBER, R.K. Effect of physical and chemical properties on the erodibility of some soils of the Malwa Plateau. Journal of the Indian Society of Soil Science, 19 (3):293-8, 1971
42. HENKLAIN, João Carlos. Erodibilidade de latossolos do Estado do Paraná; aplicabilidade do método nomográfico. Piracicaba, 1980. 75 fl. Dissertação, Mestrado, Universidade de São Paulo.
43. KANDIAH, A. Influence of soil properties and crop cover on the erodibility of soils. In: LAL, R. & GREENLAND, D. J., ed. Soil physical properties and crop production in the tropics. New York, J. Wily & Sons, 1979. c. 84., p. 475-87.
44. KEMPER, W. D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. Part 1, p.511-9. (Agronomy, 9)
45. KEMPER, W. D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, 1965. Part 1, p.499-509. (Agronomy, 9).
46. LEMOS, Raimundo Costa & SANTOS, Raphael David dos. Manual de Métodos de trabalho de campo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Método de Trabalho de Campo, 1976, 36p.
47. LOMBARDI NETO, Francisco & BERTONI, José. Erodibilidade de solos paulistas. São Paulo, Secretaria da Agricultura, Instituto Agrônomo, 1975. 12p. (Boletim técnico, 27)
48. LUGO LÓPEZ, M.A. & PÉREZ ESCOLAR, Raúl. A mathematical approach to evaluating the influence of various factors on the stability of aggregates in vertisols. Journal of Agriculture of University of Puerto Rico, San Juan 53:57-60, 1969.
49. LYLE, W.M. & SMERDON, E.T. relation of compaction and other soil properties to erosion resistance of soils. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, Mi., 8 (3): 419-22, 1965.
50. MARGOLIS, E. & CAMPOS FILHO, O.R. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo num Podzólico Vermelho Amarelo de Glória do Goitá. Trabalho apresentado no III Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, Recife, 28 jul-02 ago.1980.

51. MAZURAK, A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. Soil Science, 69 (2): 135-48, Feb. 1950.
52. McCALLA, T.M. Water-drop method of determining stability of soil structure. Soil Science, 68: 117-21, Aug. 1944.
53. MONDARDO, Arcângelo et alii. Índices de erodibilidade de alguns solos do Estado do Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO 2., Passo Fundo, abr. 24-28, 1978. Anais... Passo Fundo, EMBRAPA, 1978. p.199-201.
54. \_\_\_\_\_. Programa manejo e conservação de solos. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Relatório técnico anual 1977. Londrina, IAPAR, 1978. p.221-31.
55. \_\_\_\_\_. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Relatório Técnico anual 1978. Londrina, IAPAR, 1979. p.205-18.
56. PEELE, T.C. The effect of lime and organic matter on the erodibility of Cecil Clay. Soil Science Society of America Proceedings, Gainesville, 2:79.84, 1937.
57. \_\_\_\_\_. The relation of certain physical characteristics to the erodibility of soils. Soil Science Society of America Proceedings, 2: 97-100, 1937.
58. PEELE, T.C.; BEALE, O.W.; LATHAM, E.E. The effect of lime and organic matter on the erodibility of Cecil Clay. Soil Science Society of America Proceedings, Morganton, 3:289-95, 1938
59. PÉREZ ESCOLAR, R. & LUGO LÓPEZ, M.A. Nature of aggregation in two tropical soils of Puerto Rico. Journal of Agriculture of University of Puerto Rico, San Juan, 52: 227-32, 1968.
60. POMBO, L.C.A.; GIANLUPPI, D.; KLAMT, E. Determinação do fator K de solos do rio Grande do Sul, através de características físicas, químicas e mineralógicas. s.n.t. Trabalho apresentado no III Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, Recife, 28 jul. 02-ago. 1980.
61. PURI, A.N. & PURI, B.R. Physical characteristics of soils: II. expressing mechanical analysis and state of aggregation of soils by single values. Soil Science, 47 (1):77-81, Jan.1939.
62. QUIRK, J.P. Some physico-chemical aspects of soil structural stability; a review. In: EMERSON, W.W.; BOND, R.D.; DEXTER, A.R., ed. Modification of soil structure. Chichester, J.Wiley & Sons, 1978. p.3-15.
63. RESCK, D.V.S. et alii. Dterminação da erodibilidade de um Podzólico Vermelho Amarelo câmbico distrófico fase terraço, localizado na zona da mata (MG), utilizando o simulador de chuva. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, abr. 24-28, 1978. Anais... Passo Fundo, EMBRAPA, 1978. p.193-7.
64. \_\_\_\_\_. Erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico

- distrófico fase terraço, localizado na zona da mata (MG), determinada com simulador de chuva. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 5 (11): 7-14, jan./abr. 1981.
65. RETZER, J.L. & RUSSEL, M.B. Differences in the aggregation of a Prairie and a Gray-Brow podzolic soil. Soil Science, 52 (1):47-58, July 1941.
  66. ROMKENS, M. J. M.; ROTH, C.B.; NELSON, P.W. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. Soil Science Society of America Journal, Los Angeles, 41 (5): 954-60, Sep./Oct. 1977.
  67. RUSSELL, M.B. & FENG, C.L. Characterization of the stability of soil aggregates. Soil Science, 63 (4): 299-304, Apr. 1947.
  68. SCHALLER, F. W. & STOCKINGER, K.R. A comparison of five methods for expressing aggregation data. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 17 (4): 310-3, Oct.1953.
  69. SMITH, R.M. & CERNUDA, C.F. Some applications of water-drop stability testing to tropical soils of Puerto Rico. Soil Science 71 (5):337-45, May 1951.
  70. TOOGOOD, J. A. Relation of aggregate stability to properties of Alberta Soils. In: EMERSON, W.W.; BOND, R.D.; DEXTER, A.R., ed. Modification of soil structure. Chichester, J. Wiley & Sons, 1978. p.211-5.
  71. TRICART Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE. SUPREN, 1977. 97p. (Recursos naturais e meio ambiente, 1)
  72. UNITED STATES OF AMERICA. Department of Agriculture. Manual de levantamiento de suelo. Trad. de Juan B. Castilho. Caracas, Ministerio de Agricultura Y Gria, 1965. p.197-231.
  73. \_\_\_\_\_. Soil Survey Staff. Soil survey manual. Washington, 1951. 503p. (Handbook, 18).
  74. VAN BAVEL, C.H.M. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 14:20-3, 1949.
  75. VAN BAVEL, C.H.M. & SCHALLER, F. W. Soil aggregation, organic matter, and yields in a long-time experiment as affected by crop management. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 15: 399-404, 1950.
  76. VETTORI, Leandro. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
  77. VOZNESENSKY, A.A. & ARTSRUUI, A. B. Problems of erosion resistance of soils, Tiflis 1940. Soils and Fertilizans, 10 (1): 289, 1947.
  78. JAMES, R. W. & STEVAN, L.J. Erodibility of some California wildland soils related to their metallic cation exchange capacity. Journal of Geophysical Research, Berkeley, 66 (4):1225-30, Abril, 1961.

79. WILLIAMS, B.G. et alii. Techniques for the determination of the stability of soil aggregates. Soil Science, 101 (3): 157-63, Mar. 1966.
80. WILSON, H.A. & BROWNING, G.M. Soil aggregation, yields, runoff, and erosion as affected by cropping systems. Soil Science Society of America Proceedings, Morgantown, 10:51-7, 1946.
81. WISCHMEIER, Walter H. Foreword In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA. Soil erosion prediction and control. Ankeny, 1977. p. vii-xii. The proceeding of a National Conference on Soil Erosion, West Lafayette, May 24-26, 1976.
82. WISCHMEIER, W.H. & MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Science Society of América Proceedings, Madison, 33 (1):131-7, Jan./Feb. 1969.
83. WISCMEIER, W. H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the rocky mountains; guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, D.C., Agricultural Research Service, 1965. 47p. (Agriculture handbook, 282).
84. WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington, D.C., United States Departament of Agriculture, 1978. 58 p. (Agriculture Handbook, 537).
85. WISCHMEIER, W.H.; HOHNSON, C.B.; CROSS, B. V. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, 26 (5): 189-93, Sep./Oct. 1971.
86. WÜNSCHE, Werner A. & DENARDIN, José E. Erodibilidade de Latossolo Vermelho Escuro álico (unidade de mapeamento Passo Fundo); 1. aproximação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, abr. 24-28, 1978. Anais... Passo Fundo, EMBRAPA, 1978. p.209-14.
87. YODER, Robert E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Journal of the American Society of Agronomy, 28(5):337-51, May 1936.

## ANEXOS



TABELA A.1 - VARIABILIDADE DO DIÂMETRO MÉDIO PONDERADO (DMP) NOS TESTES DE ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA

DETERMINAÇÃO	SOLO	NÚMERO DE REPETIÇÕES													
		1		2		3		4		5		6		7	
		DMP (mm)	Data	DMP (mm)	Data	DMP (mm)	Data	DMP (mm)	Data	DMP (mm)	Data	DMP (mm)	Data	DMP (mm)	Data
Com Imersão Direta	LR-PR	1,51*	22.06.81	1,72*	23.06.81	1,47*	30.06.81	1,42*	10.03.82	-	-	-	-	-	-
	LR-RS	2,05*	15.09.81	2,07*	16.09.81	2,19*	22.09.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	LR-SP	3,31	09.11.81	3,03	10.11.81	3,77*	20.11.81	4,66	09.03.82	4,19*	24.03.82	4,32*	26.03.82	-	-
	Lvm-PR	1,99*	05.06.81	1,94*	08.06.81	1,88*	09.06.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	LV-PR	3,50*	12.08.81	3,34*	13.08.81	3,34*	01.09.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	LV-RS	3,47	24.08.81	3,66	25.08.81	4,27*	23.09.81	5,53	09.03.82	5,22	24.03.82	4,51*	30.03.82	4,44*	31.03.82
	PVlm-PR	0,87*	23.06.81	1,16	24.06.81	0,86*	30.06.81	0,85*	09.03.82	-	-	-	-	-	-
	PV-PE	3,72*	03.07.81	4,19*	04.07.81	4,10*	01.09.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	PV-MG	5,33*	09.11.81	5,38*	10.11.81	4,52	20.11.81	1,91	09.03.82	4,99*	24.03.82	-	-	-	-
	TRe-RS	1,73*	14.09.81	1,61*	15.09.81	1,85*	22.09.81	-	-	-	-	-	-	-	-
Com Imersão à Vácuo	LR-PR	2,51*	24.06.81	2,51*	26.06.81	2,10	01.07.81	2,46*	09.03.82	-	-	-	-	-	-
	LR-RS	3,89*	18.09.81	3,64*	19.09.81	3,78*	21.09.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	LR-SP	5,66*	16.12.81	5,75*	17.12.81	5,78*	18.12.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lvm-PR	3,64*	24.06.81	3,36*	26.06.81	3,22*	01.07.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	LV-PR	5,21*	09.08.81	4,87*	20.08.81	5,45*	11.09.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	LV-RS	5,15*	02.09.81	4,94*	03.09.81	5,19*	11.09.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	PVlm-PR	2,47	29.06.81	2,32	30.06.81	3,51*	09.09.81	3,97*	09.03.82	4,08*	24.03.82	-	-	-	-
	PV-PE	4,93*	10.07.81	5,08*	11.07.81	5,18*	09.09.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	PV-MG	5,57*	16.12.81	5,59*	21.12.81	5,76*	22.12.81	-	-	-	-	-	-	-	-
	TRe-RS	3,56	15.09.81	4,34*	16.09.81	4,91*	21.09.81	4,58*	09.03.82	-	-	-	-	-	-

OBS: \*Repetições mais próximas

TABELA A.2 - ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA

DETERMINAÇÃO	SOLO	DMP (mm)			DMG (mm)			AGR. > 4mm (%)			AGR. > 2mm (%)			AGR. > 1mm (%)			AGR. > 0,25mm (%)		
		Repetições			Repetições			Repetições			Repetições			Repetições			Repetições		
		1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
COM IMERSÃO DIRETA	LR-PR	1,51	1,42	1,47	0,79	0,84	0,88	11,60	09,26	09,65	22,63	19,67	20,76	35,08	34,31	35,67	79,36	85,44	87,29
	LR-RS	2,05	2,07	2,19	1,08	1,09	1,14	23,93	24,54	27,29	31,44	31,90	33,32	40,90	41,15	41,54	77,39	77,01	78,75
	LR-SP	4,32	4,19	3,77	3,29	3,17	2,72	63,26	60,23	51,11	74,79	72,35	65,82	82,07	81,05	77,25	93,29	92,36	91,39
	Lvm-PR	1,99	1,94	1,88	1,38	1,36	1,33	27,81	26,91	25,51	33,55	32,96	32,06	37,09	36,06	35,11	50,85	50,16	49,75
	LV-PR	3,50	3,34	3,34	2,18	2,03	2,13	46,61	44,20	41,41	60,43	56,40	59,13	70,11	67,24	71,17	92,25	92,27	93,15
	LV-RS	4,51	4,44	4,27	3,21	3,10	2,86	68,06	67,61	64,93	78,28	78,65	72,79	80,25	81,53	76,98	88,44	89,55	87,04
	PVlm-PR	0,87	0,85	0,86	0,77	0,77	0,78	09,65	06,95	07,99	12,64	11,57	11,73	15,62	15,62	17,25	37,27	40,55	43,32
	PV-PE	3,72	4,19	4,10	2,78	3,17	3,06	59,14	66,45	64,78	63,20	70,90	69,36	64,56	73,51	71,76	68,71	78,10	77,03
	PV-MG	5,33	5,38	4,99	4,49	4,60	4,12	66,76	87,29	78,07	90,07	91,36	86,10	91,02	92,03	88,58	92,06	95,00	92,35
	TRe-RS	1,73	1,61	1,85	1,05	1,01	1,14	23,00	20,79	24,45	27,57	26,01	30,40	32,38	30,54	35,02	51,00	49,26	55,12
COM IMERSÃO À VÁCUO	LR-PR	2,51	2,51	2,46	1,44	1,50	1,43	28,60	26,39	26,47	40,11	42,19	40,14	53,68	57,49	54,31	92,06	92,57	92,35
	LR-RS	3,89	3,64	3,78	2,60	2,37	2,49	56,39	50,83	54,10	65,20	61,89	63,35	72,56	70,19	71,11	92,00	91,14	92,65
	LR-SP	5,66	5,75	5,78	5,33	5,49	5,54	92,17	94,29	95,03	95,49	96,41	97,12	96,81	97,68	97,85	98,58	98,99	98,68
	Lvm-PR	3,64	3,36	3,22	2,71	2,30	2,19	56,34	50,72	48,76	64,08	57,05	54,77	64,97	59,58	57,12	65,71	72,03	68,10
	LV-PR	5,21	4,87	5,45	4,38	3,80	4,87	81,93	74,22	86,71	89,32	84,42	93,39	91,91	88,13	94,94	94,50	95,43	98,11
	LV-RS	5,15	4,94	5,19	4,22	3,99	4,38	81,63	75,80	82,30	87,57	85,59	88,63	89,46	88,84	90,68	94,17	94,16	95,81
	PVlm-PR	3,97	4,08	3,51	2,78	2,86	2,32	61,04	63,34	62,05	66,96	68,75	59,57	70,70	71,40	63,66	82,12	83,09	77,70
	PV-PE	4,93	5,08	5,18	4,12	4,34	4,53	79,73	82,14	84,73	82,72	85,46	86,71	84,41	86,87	87,94	88,83	90,77	90,58
	PV-MG	5,57	5,59	5,76	5,17	5,26	5,51	90,20	89,92	94,63	94,45	95,73	96,90	95,52	96,64	97,41	97,57	97,32	98,19
	TRe-RS	4,58	4,34	4,91	3,65	3,22	3,99	70,84	67,81	78,52	77,77	73,11	82,32	82,46	76,81	84,82	90,30	85,80	91,23

TABELA A.3 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES FORMAS DE REPRESENTAR A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

	AGR. > 0,25mm	AGR. > 1mm	AGR. > 2mm	AGR. > 4mm	DMG
DMP	0,7654**	0,9887**	0,9989**	0,9934**	0,9732**
DMG	0,6853**	0,9422**	0,9673**	0,9809**	
Agr. > 4mm	0,6915**	0,9656**	0,9917**		
Agr. > 2mm	0,7571**	0,9894**			
Agr. > 1mm	0,8388**				
Log DMG	0,7153**	0,9784**	0,9954**	0,9926**	0,9936**

OBS: \*\*Significativo a nível de 1%

TABELA A.4 - RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA

SOLO	PRIMEIRA REPETIÇÃO												SEGUNDA REPETIÇÃO													
	Determinações												Coeficiente G*	Determinações												Coeficiente G*
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	Total	1ª		2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	Total			
LR-PR	2	15	6	1	1	3	0	2	0	0	24	0,80	2	0	3	0	2	2	0	5	0	0	14	0,47		
LR-RS	0	7	13	14	3	6	0	0	94	17	154	5,13	74	0	3	165	6	0	0	32	3	0	223	7,43		
LR-SP	+300	+300	+300	130	143	50	+300	11	4	+300	1.838	61,27	+300	+300	+300	1	+300	+300	+300	53	3	+300	2.157	71,66		
LVa-PR	0	0	7	0	0	0	8	5	7	3	38	1,27	2	10	9	2	3	7	0	0	3	6	42	1,40		
LV-PR	12	+300	+300	12	+300	0	0	0	1	0	925	30,83	+300	66	+300	0	1	+300	265	0	4	0	1.236	41,20		
LV-RS	13	11	58	13	21	11	17	54	12	+300	510	17,00	12	17	14	140	18	36	9	17	5	202	470	15,67		
PVLu-PR	0	0	0	0	0	12	0	3	2	0	17	0,57	0	0	0	0	7	0	5	3	0	0	15	0,50		
PV-PE	1	13	31	07	9	1	224	15	0	54	435	14,50	24	12	0	7	132	8	16	18	7	19	251	8,37		
PV-MG	+300	43	18	+300	126	45	16	58	26	27	960	32,00	24	8	19	129	22	+300	+300	27	28	20	877	29,23		
TRa-RS	16	0	1	0	2	0	0	1	0	6	26	0,87	5	11	1	0	7	0	1	15	0	0	40	1,33		

CS: \*G = 1 determinações / 3 030

TABELA A.5 - COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO ENTRE A RESISTÊNCIA DOS AGREGADOS AO IMPACTO DA GOTA E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS EM ÁGUA

	CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE	ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁGUA (E)											
		DMP (mm)		DMG (mm)		AGR. > 4mm		AGR. > 2mm		AGR. > 1mm		AGR. > 0,25mm	
		Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo
Coeficiente de Resistência ao Impacto da Gota G	G e E	0,6691*	0,7966**	0,6414*	0,7118*	0,6081*	0,7314**	0,7399**	0,7649**	0,6702*	0,6136*	0,7416**	n.s.
	Log G e E	0,8897**	0,8437**	0,8190**	0,8580**	0,8460*	0,6062**	0,8936**	0,8447**	0,9258**	0,8738**	0,7952**	0,6766*
	G e Log E	0,6635*	0,6839*	0,6803*	0,7174**	0,6210*	0,6190*	0,6639*	0,6715**	0,6920*	0,7303**	0,6309*	0,5811*
	Log G e Log E	0,9077**	0,8083**	0,8792**	0,8208**	0,8846**	0,7437**	0,9047**	0,8048**	0,9086**	0,8556**	0,7797**	0,6472*

OBS: n.s. não significativo

\*Significativo ao nível de 5%

\*\*Significativo ao nível de 1%

TABELA A.6 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE A ERODIBILIDADE E ESTABILIDADE DOS AGREGADOS DETERMINADA POR VÁRIOS MÉTODOS

	CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE	ESTABILIDADE DE AGREGADOS (E)												Coeficiente G
		DMP		DMG		Agregados > 4mm		Agregados > 2mm		Agregados > 1mm		Agregados 0,25mm		
		Im. Direta	Vácuo	Im. Direta	Vácuo	Im. Direta	Vácuo	Im. Direta	Vácuo	Im. Direta	Vácuo	Im. Direta	Vácuo	
Erodibilidade (K)	K e E	(0,6649)*	(0,6499)*	(0,6231)*	(0,6285)*	(0,6379)*	(0,6137)*	(0,6234)*	(0,6314)*	(0,6294)*	(0,6833)*	(0,5630)*	(0,6995)*	(0,5130)
	Log K e E	(0,6142)*	(0,5601)*	(0,6015)*	(0,5510)*	(0,6156)*	(0,5309)	(0,5838)*	(0,5394)	(0,5888)*	(0,5841)*	(0,5248)	(0,6019)*	(0,7222)**
	K e Log E	(0,6016)*	(0,6413)*	(0,5997)*	(0,6145)*	(0,5910)*	(0,5838)*	(0,5697)*	(0,6210)*	(0,5726)*	(0,6923)*	(0,5577)*	(0,6999)*	(0,4447)
	Log K e log E	(0,5873)*	(0,5530)*	(0,5734)*	(0,5335)*	(0,5836)*	(0,5070)*	(0,5560)*	(0,5327)*	(0,5550)*	(0,5917)*	(0,5530)	(0,5986)*	(0,6740)*

DES: \*Significativo ao nível de 5%

\*\*Significativo ao nível de 1%

TABELA A.7 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS

SOLO	pH em água			pH em KCl			AL trocável (me %)			Ca+Mg trocável (me%)			H trocável (me%)			P assimilável (ppm)			K trocável (ppm)			C ORGÂNICO (%)		
	Repetições			Repetições			Repetições			Repetições			Repetições			Repetições			Repetições			Repetições		
	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª
LR-PR	5,68	5,75	5,80	4,59	4,56	4,71	0,0	0,0	0,0	5,9	6,0	6,3	6,6	8,2	6,3	5	4	7	120	120	120	1,63	1,73	1,83
LR-RS	5,23	5,22	5,45	4,00	4,00	4,16	0,7	0,8	0,4	4,7	4,9	5,5	6,9	6,9	7,0	10	10	11	58	50	52	1,33	1,17	1,21
LR-SP	4,69	4,71	4,89	4,00	4,00	4,23	0,6	0,6	0,5	3,4	3,4	3,6	7,4	7,1	6,6	2	3	3	30	37	32	1,40	1,56	1,11
LVm-PR	4,84	4,81	5,05	3,77	3,77	4,04	0,7	0,7	0,6	2,1	1,2	1,0	5,2	4,7	3,4	3	3	4	13	13	17	0,66	0,57	0,50
LV-PR	4,33	4,26	4,54	3,62	3,65	3,66	3,0	3,2	2,8	1,6	1,3	1,3	1,6	2,4	2,0	1	3	3	29	29	28	3,09	2,93	2,91
LV-RS	5,27	5,23	5,41	3,86	3,84	3,88	1,1	1,2	0,9	5,0	4,8	5,0	9,5	8,4	9,0	30	30	30	75	81	72	1,96	1,89	1,80
PVLm-PR	5,86	5,89	5,94	4,82	4,83	4,90	0,0	0,0	0,0	4,0	3,6	3,5	4,4	4,9	3,9	30	30	30	120	120	120	1,03	1,13	0,76
PV-PE	5,93	6,00	6,08	4,89	4,88	5,02	0,0	0,0	0,0	4,4	4,2	4,1	4,6	6,6	3,8	2	2	3	120	120	120	1,20	1,10	1,33
PV-MG	4,88	4,86	4,95	3,97	3,97	4,09	0,7	0,8	0,3	2,0	1,8	2,4	5,6	5,5	5,6	3	3	4	54	51	51	1,26	1,17	0,97
TRe-RS	5,18	5,12	5,42	4,22	4,24	4,53	0,6	0,5	0,4	3,5	3,8	3,5	3,8	3,9	4,0	16	16	16	120	120	120	0,96	1,06	0,66

TABELA A.8 - CORRELAÇÃO ENTRE A GRANULOMETRIA E UMIDADE HIGROSCÓPICA E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

PARÂMETROS	CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE	ESTABILIDADE DE AGREGADOS (E)												COEF. G
		DMP		DMG		AGREGADOS >4mm		AGREGADOS >2mm		AGREGADOS > 1mm		AGREGADOS > 0,25mm		
		Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo	Imersão Direta	Vácuo	
Argila (A)	A e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,7158**	0,6414*	ns
	log A e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,7643	0,7890*	ns
	A e log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,7012*	0,6364*	ns
	log A e Log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,7433**	0,7871**	ns
Silte (S)	S e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,7307**	ns
	log S e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,6381*	0,8753**	ns
	S e log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,7358**	ns
	log S e Log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,6488**	0,8835**	ns
Areia Total (at)	at e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	(0,7230)**	(0,7066)**	
	log at e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	(0,5718)*	ns	ns
	at e log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	(0,7141)**	(0,7035)	ns
	log at e log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	(0,5643)*	ns	
Areia Grossa (ag)	ag e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	log ag e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	ag e log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	log ag e log E	ns	0,5565*	ns	0,5787*	ns	0,5623*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Areia Média e Fina (am)	am e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns			(0,7822)**	(0,8822)**	ns
	log am e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	(0,6339)*	(0,5840)*	ns
	am e log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	(0,7890)**	(0,8848)**	ns
	log am e log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	(0,6310)*	(0,5833)*	ns
Areia Muito Fina (af)	af e E	0,5656*	0,6108*	0,6796*	0,6455*	0,6381*	0,6394*	0,5645*	0,5992*	ns	0,5633*	ns	ns	ns
	log af e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	af e log E	ns	0,5963*	0,5895*	0,6260*	ns	0,6031*	ns	0,5859*	ns	0,5584*	ns	ns	ns
	log af e log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Silte + Areia Muito Fina (Saf)	Saf e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,6297*	ns	0,8030**	ns
	log Saf e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,6323*	0,6129*	0,8943**	ns
	Saf e Log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,6295*	ns	0,8038**	ns
	Log Saf e Log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,6296*	0,6173*	0,8922**	ns
Umidade Higroscópica (U)	U e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	log U e E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	U e log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,5505*	ns
	log U e Log E	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,8564**	0,8119**	ns

OBS: ns - não significativo

\*Significativo ao nível de 5%

TABELA A.9 - CORRELAÇÃO ENTRE AS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO E A ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

PARÂMETRO QUÍMICO DO SOLO	CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE	ESTABILIDADE DOS AGREGADOS (E) > 0,25mm	
		Imersão Direta	Vácuo
Carbono % (C)	C e E	0,6516*	0,5703*
	Log C e E	0,7387**	0,7289**
	C e log E	0,6287*	0,5654*
	Log C e log E	0,7174**	0,7303**
		Coeficiente de Resistência ao Impacto da Gota (G)	
pH em água (pH)	pH e G	(0,6236)*	
	Log pH e G	(0,6327)*	
	pH e log G	(0,5782)*	
	Log pH e log G	(0,5860)*	
pH em água menos	$\Delta$ pH e G	0,5740*	
	$\Delta$ pH e log G	0,6591*	
pH em KCl ( $\Delta$ pH)	Log $\Delta$ pH e G	n.s.	
	Log $\Delta$ pH e log G	n.s.	

OBS: n.s não significativos

\*Significativos ao nível de 5%

\*\*Significativos ao nível de 1%

TABELA A.10 - CORRELAÇÃO ENTRE O TEOR DE CARBONO E ESTABILIDADE DE DIFERENTES TAMANHOS DE AGREGADOS

	CORRELAÇÃO LINEAR SIMPLES ENTRE	DETERMINAÇÃO	ESTABILIDADE DE AGREGADOS (E)			
			>4mm	>2mm	> 1mm	> 0,25mm
Carbono em % (C)	C e E	Imersão Direta	0,1776+	0,2868+	0,3900+	0,6516*
		Vácuo	0,1518+	0,2440+	0,3279+	0,5703*
	Log C e E	Imersão Direta	0,2388+	0,3409+	0,4479+	0,7387**
		Vácuo	0,1759+	0,2699+	0,3782+	0,7289**
	C e log E	Imersão Direta	0,2081+	0,3165+	0,4140+	0,6287*
		Vácuo	0,0886+	0,1932+	0,3107+	0,5664*
	Log C e log E	Imersão Direta	0,2280+	0,3440+	0,4570+	0,7174**
		Vácuo	0,0898+	0,2067+	0,3594+	0,7303**

OBS: +Não significativo

\*Significativo ao nível de 5%

\*\*Significativo ao nível de 1%

QUADRO A.1 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO SIMPLES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DO SOLO E A ERODIBILIDADE

VARIÁVEL INDEPENDENTE	VALOR DE "r" PARA O K MÉDIO
Diâmetro Médio Ponderado	(0,768)
Agregados Instáveis	0,903
pH em KCl menos pH em H <sub>2</sub> O	(0,650)
Densidade do Solo	0,006
Matéria Orgânica	(0,119)
Argila	(0,649)
Silte	0,581
Silte + areia muito fina	0,603
Areia	0,560
Areia >0,1mm	0,514
Taxa de Infiltração	(0,381)
Estrutura	0,266
Permeabilidade	0,104
pH em H <sub>2</sub> O	0,495
Percentagem de suspensão	0,803
Saturação de bases	0,807
Mineralogia cristalina	0,401
Mineralogia total	0,755
Areia + silte	0,704
Silte + areia muito fina x (Areia + silte)	0,700

FONTE: EL-SWAIFY e DANGLER (1977).

QUADRO A.2 - FATOR K DE ERODIBILIDADE DO SOLO E OUTROS PARÂMETROS PARA TRÊS CHUVAS APLICADAS NO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO CÂMBICO DISTRÓFICO NA ZONA DA MATA (MG)

CHUVAS APLICADAS	PERDAS DE SOLO	ENERGIA CINÉTICA <sup>1</sup>	ALTURA DA LÂMINA D'ÁGUA	INTENSIDADE MÁXIMA EM 30 min(130)	EI 30 <sup>2</sup>	K <sup>3</sup>
mm/h	t/ha	l m/ha mm	mm	mm/h	(t m/ha) (mm/h)	(t/ha)/(t m/ha)(mm/h)
62	3,15	21,90	62	62	84	0,038
58	6,50	21,70	29	58	36	0,178
112	5,33	23,69	34	112	90	0,059

FONTE: RESCK et alii (1981)

<sup>1</sup>Ec= 0,78 (12,13 + 8,90 log 1)

<sup>2</sup>EI<sub>30</sub> x 10<sup>-3</sup>

<sup>3</sup>K= (0,273 t/ha)/(t m/ha) (mm/h)

QUADRO A.3 - ÍNDICE DE ERODIBILIDADE DO SOLO "SÃO JERÔNIMO" (LATERÍTICO BRUNO AVERMELHADO DISTRÓFICO) DETERMINADO COM SIMULADOR DE CHUVAS

REPETIÇÕES	FATORES	CHUVAS APLICADAS POR TESTE				FATOR K MÉDIA POR REPETIÇÃO
		I	II	III	Total	
Repetição 1	Fator EI	76,6800	38,4000	92,0160	207,0360	0,29
	A (t/ha)	3,6128	6,0947	18,2814	27,9889	
	Fator LS	0,4728	0,4728	0,4728	0,4728	
	Fator K	0,0996	0,3363	0,4203	0,2860	
Repetição 2	Fator EI	76,6800	38,3400	92,0160	207,0360	0,19
	A (t/ha)	2,3157	2,9801	12,9214	18,2172	
	Fator LS	0,4728	0,4728	0,4728	0,4728	
	Fator K	0,0639	0,1644	0,2970	0,1861	
Repetição 3	Fator EI	76,6800	38,3400	92,0160	207,0360	0,28
	A (t/ha)	2,0846	6,2001	18,9245	27,2092	
	Fator LS	0,4728	0,4728	0,4728	0,4728	
	Fator K	0,0575	0,3420	0,4350	0,2780	
Repetição 4	Fator EI	76,6800	38,3400	92,0160	207,0360	0,13
	A (t/ha)	0,6924	2,1136	9,9488	12,7548	
	Fator LS	0,4728	0,4728	0,4728	0,4728	
	Fator K	0,0191	0,1166	0,2287	0,1303	
Média de 4 repetições para o solo "São Jerônimo"				Fator K =		0,22

FONTE: CASSOL, ELTZ e GUERRA - IPRNR - Sec. Agricultura-RS (Abril 1978)

<sup>1</sup>Os valores são resultantes de dois testes de chuva simulada com duas repetições por teste.

QUADRO A.4 - ERODIBILIDADE DO SOLO "SÃO JERÔNIMO" (LATERÍTICO BRUNO AVERMELHADO DISTRÓFICO) DETERMINADO COM SIMULADOR DE CHUVAS<sup>1</sup>

TESTE E DATA	SÉRIE DE CHUVAS APLICADAS POR TESTE	REPETIÇÃO 1				REPETIÇÃO 2				FATOR "K" MÉDIA POR TESTE
		Fator "A" (t/ha)	Fator "R"	Fator "LS"	Fator "K" (K=A/RLS)	Fator "A" (t/ha)	Fator "R"	Fator LS	FATOR "K" (K=A/RLS)	
10 SET/77	I	3,613	76,680	0,473	0,100	2,316	76,680	0,473	0,064	0,236
	II	6,095	38,340	0,473	0,356	2,980	38,340	0,473	0,164	
	III	18,281	92,016	0,473	0,420	12,921	92,016	0,473	0,297	
	TOTAL	27,989	207,036	0,473	0,286	18,217	207,036	0,473	0,186	
20 DEZ/77	I	2,085	76,680	0,473	0,057	0,692	76,680	0,473	0,019	0,204
	II	6,200	38,340	0,473	0,342	2,114	38,340	0,473	0,117	
	III	18,924	92,016	0,473	0,435	9,949	92,016	0,473	0,229	
	TOTAL	27,209	207,036	0,473	0,278	12,755	207,036	0,473	0,130	
30 JUL/78	I	4,529	76,680	0,473	0,125	3,300	76,680	0,473	0,091	0,271
	II	4,539	38,340	0,473	0,250	8,004	38,340	0,473	0,441	
	III	12,333	92,016	0,473	0,283	10,778	92,016	0,473	0,477	
	TOTAL	21,401	207,036	0,473	0,219	32,082	207,036	0,473	0,328	
40 DEZ/78	I	5,030	76,680	0,473	0,139	4,518	76,680	0,473	0,125	0,369
	II	10,936	38,340	0,473	0,603	6,003	38,340	0,473	0,331	
	III	27,712	92,016	0,473	0,637	17,999	92,016	0,473	0,414	
	TOTAL	43,678	207,036	0,473	0,446	28,520	207,036	0,473	0,291	
50 JUN/79	I	1,468	76,680	0,473	0,040		76,680	0,473	0,386	0,470
	II	6,582	38,340	0,473	0,363	13,456	38,340	0,473	0,742	
	III	24,005	92,016	0,473	0,552	32,584	92,016	0,473	0,749	
	TOTAL	32,055	207,036	0,473	0,327	60,028	207,036	0,473	0,613	
FATOR "K" - MÉDIA DE 5 (CINCO) TESTES TOTALIZANDO 10 (DEZ) REPETIÇÕES										0,31

FONTE: CASSOL et alii (1980)

<sup>1</sup>Resultados de cinco testes de chuva simulada com duas repetições por teste

QUADRO A.5 - ERODIBILIDADE DO LATOSSOLO VERMELHO ESCURO ALICO NA UNIDADE DE MAPEAMENTO PASSO FUNDO DETERMINADA COM SIMULADOR DE CHUVAS.

DATA DO TESTE	COMPRIMENTO DA PARCELA (m)	INDICE DE ERO-SIVIDADE (EI)	PERDA DE SOLO (A) (t/ha)	ERODIBILIDADE DO SOLO* (K)
30.03.76	11	127,9	24,681	0,276
01.04.76	11	215,9	55,955	0,370
20.07.76	11	212,7	27,457	0,184
04.01.77	11	169,6	11,053	0,093
26.07.77	11	224,1	13,010	0,083
04.11.77	11	213,4	45,6	0,305
04.11.77	11	205,4	64,4	0,448
11.11.77	11	178,8	15,2	0,121
11.11.77	11	243,4	19,7	0,116
01.02.78	11	170,1	7,465	0,063
04.11.77	22	213,4	79,8	0,374
04.11.77	22	205,4	96,2	0,468
11.11	22	178,8	34,0	0,190
11.11	22	243,4	48,8	0,200
04.11.77	33	213,4	101,9	0,391
04.11.77	33	205,4	102,2	0,408
11.11	33	178,8	49,1	0,225
11.11	33	243,4	60,2	0,203
Média				K= 0,25

FONTE: CNP Trigo-EMBRAPA, WÜNSCHE e DENARDIN (1978)

\*Como as parcelas possuíam uma declividade de 9%, os valores de K só estão corrigidos para comprimento padrão

QUADRO A.6 - DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO SOB CONDIÇÕES DE CHUVA NATURAL

SOLO	PARCELAS		PREPARO DAS PARCELAS	PERÍODO DE DETERMINAÇÃO (ANOS)	FATOR K
	Declive (%)	Tamanho (m)			
LR-PR*	6	22x3,5	Solo descoberto com preparo convencional. Uma aração e duas gradagens duas vezes por ano (outubro-novembro e maio-junho)	2	0,373
				2	0,3703
				2	0,38
				4	0,323 <sup>1 2</sup>
Lvm-PR*		11x3,5		1	0,0935
LV-PR*	7	22x3,5		1	0,074
			4	0,218 <sup>1 2</sup>	
PVL-m-PR*	4-4,5	22x3,5		3	0,261 <sup>2</sup>
LR-RS*	7,5	22x3,5	Solo descoberto, preparo convencional	3	0,078 <sup>2</sup>
TRe-RS**	12	22x3,5		3	0,33 <sup>2</sup>
LR-SP**	9,9	25x4	Solo descoberto preparo convencional	3	0,122 <sup>2</sup>
LR-RS****	9	22x3,5	Solo descoberto, preparo convencional	1	0,20 <sup>2</sup>
PV-PE*****	12	100m <sup>2</sup>	Solo descoberto, preparo manual	5	0,10 <sup>2</sup>

FONTE: \*MONDARDO et alii (1979,1978); BISCAIA et alii (1981); HENKLAIN (com.pes. 1982)

\*\*ELTZ et alii (1980); CASSOL (Comunicação pessoal 1982)

\*\*\*BERTONI et alii (1975); LOMBARDI (Comunicação Pessoal 1982)

\*\*\*\*WÜNSCHE e DENARDIN (1978)

\*\*\*\*\*MARGOLIS e CAMPOS FILHO (1980)

<sup>1</sup> Recalculado para homogeneizar os dados

<sup>2</sup> Valor utilizado neste trabalho



QUADRO A.7 - DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO SOB CONDIÇÕES DE CHUVA SIMULADA

SOLO	PARCELA		PREPARO DAS PARCELAS	TIPO DE SIMULADOR	CHUVAS APLICADAS			Nº DE REPE-TIÇÕES	FATOR K
	Declive (%)	Tamanho (m)			Intensidade (mm/h)	Duração (min)	Espaçamento		
LR-PR*	6-8	11x3,5	Mantidas sem cobertura vegetal e por ocasião dos testes, a cada seis meses efetuaram-se duas gradagens e uma aração morro abaixo.	Rotativo	65	60	18 a 24 h	10	0,39
					65	30		10	0,3750
					130	18	?	-	0,39 <sup>2</sup>
								8	0,072
LVm-PR*	4	11x3,5						8	0,0867
								-	0,44 <sup>2</sup>
LV-PR*	10	11x3,5						10	0,091
LV-RS**	9	11x3,5	Por ocasião dos testes uma aração, com profundidade de 15 a 17 cm e duas gradagens no sentido do declive. Os implementos utilizados foram arados de disco e grade niveladora leve.	Rotativo	60	60	24 h	18	0,25
					60	30		24	0,21 <sup>2</sup>
					120	18	15 min.		
PV-MG***	5	11x3,5	Mantida limpa por dois anos agrícolas por meio de campinas manuais. Por ocasião dos testes foi efetuada uma gradagem (grade off-set) no sentido do declive. A profundidade da gradagem foi de 10 cm.	Rotativo Tipo Swanson (1965)	62	60	24 hs	4	0,088 <sup>1 2</sup>
					58	30			
					112	18	15 min.		
TRe-RS****	6,8	11x3,5	Mantida sem cobertura vegetal, e por ocasião dos testes, realizados com um lapso de tempo de 3 a 7 meses, efetuaram-se uma aração e duas gradagens no sentido do declive. Os implementos utilizados foram trator, arado de disco e grade niveladora.	Rotativo tipo Swanson	60	60	24 hs	4	0,22
					60	30			
					120	18	20-30 min		

FONTE: \*MONGARDO et alii (1979, 1978-1978b); HENKLAIN, (1980)

\*\*WUNSCH et alii (1978 e Comunicação Pessoal, 1982)

\*\*\*RESCK et alii (1978, 1981)

\*\*\*\*CASSOL et alii (1978, 1980)

<sup>1</sup>Recalculado para homogeneizar os dados

<sup>2</sup>Valor utilizado neste trabalho

GRÁFICO A1 - CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA.

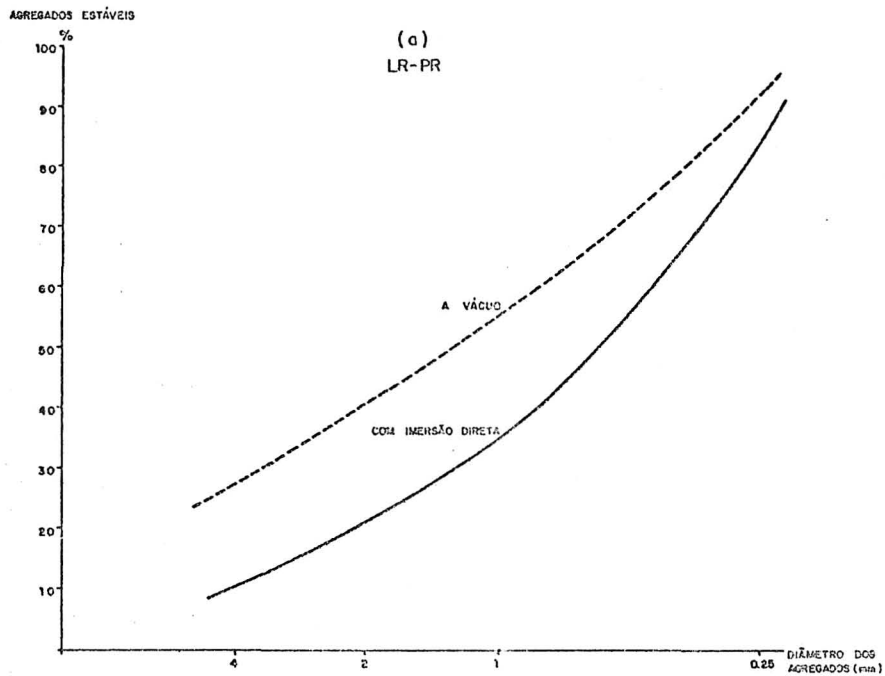


GRÁFICO A1 - CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA.

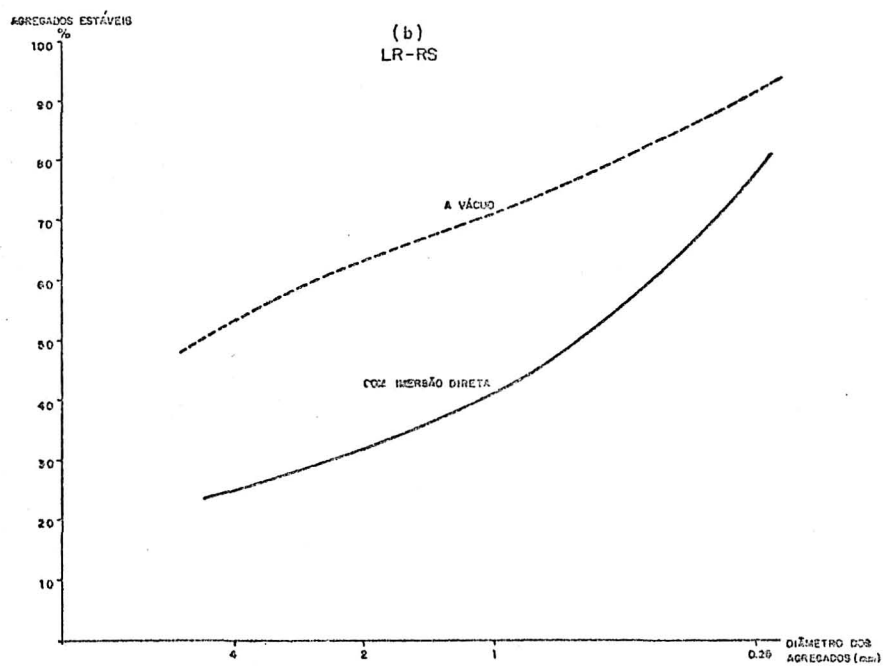


GRÁFICO A1 - CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA .

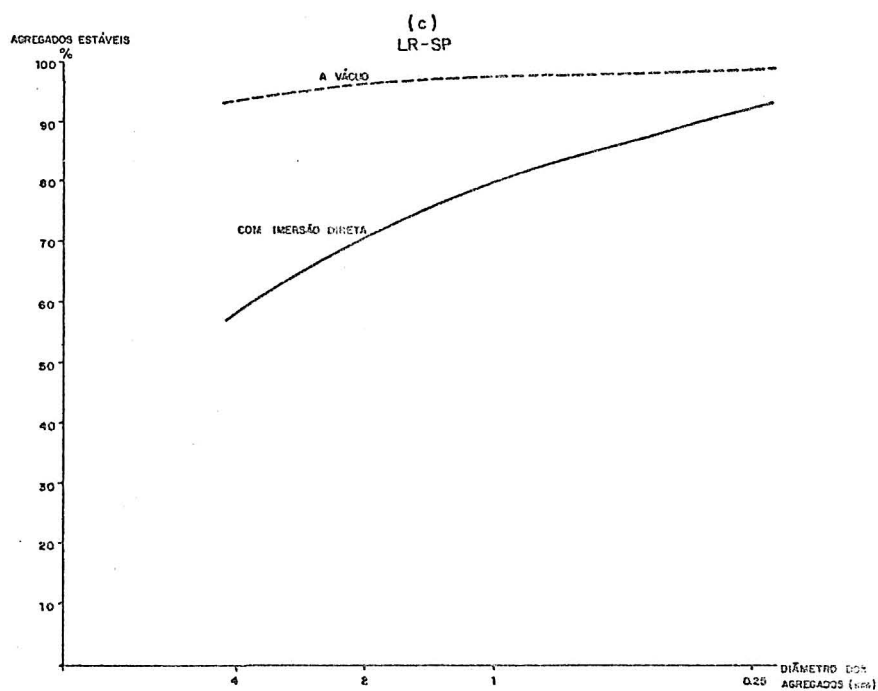


GRÁFICO A1 - CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA.

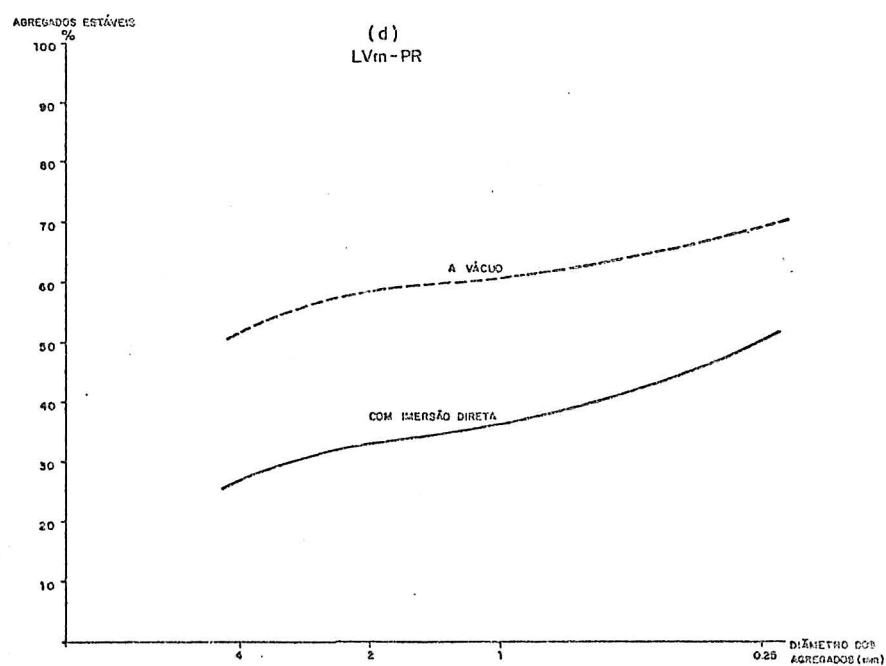


GRÁFICO A1 - CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA .

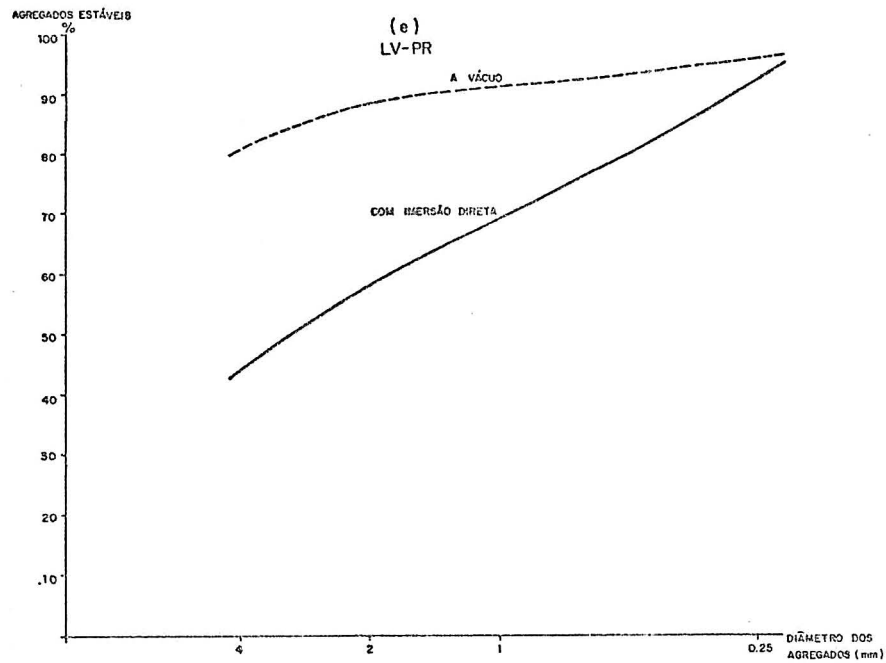


GRÁFICO A1 - CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA .

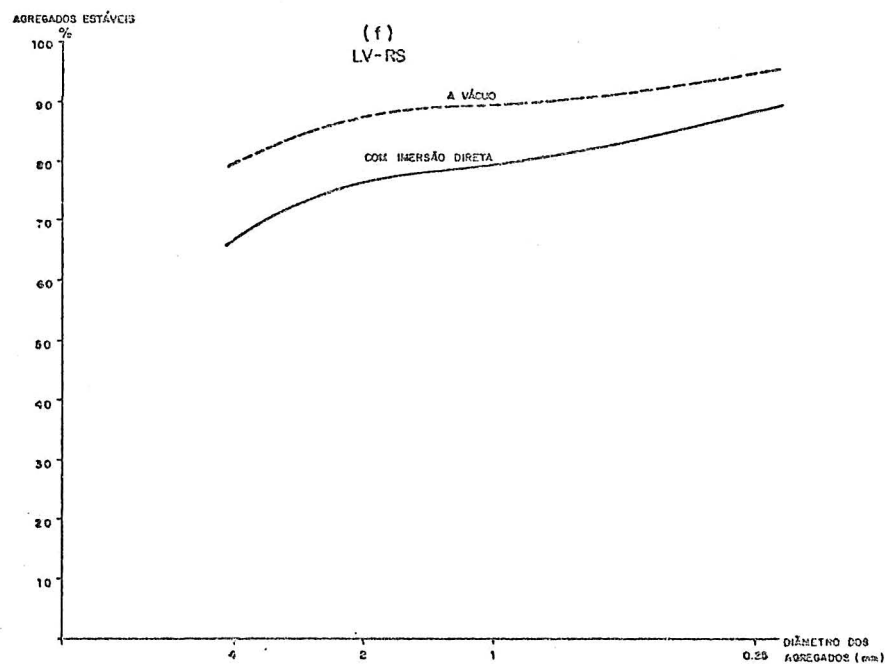


GRÁFICO A1-CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA.

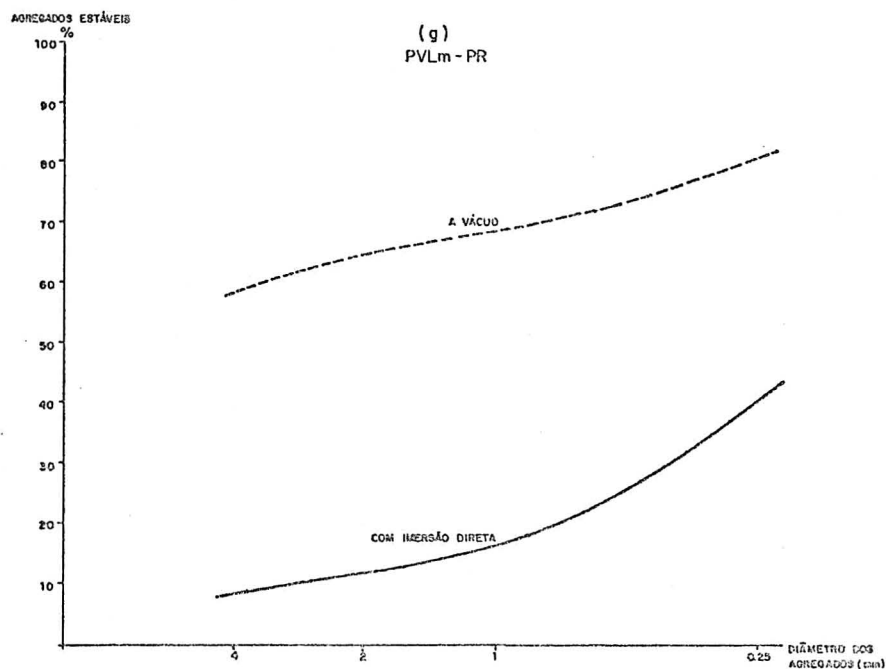


GRÁFICO A1-CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA.

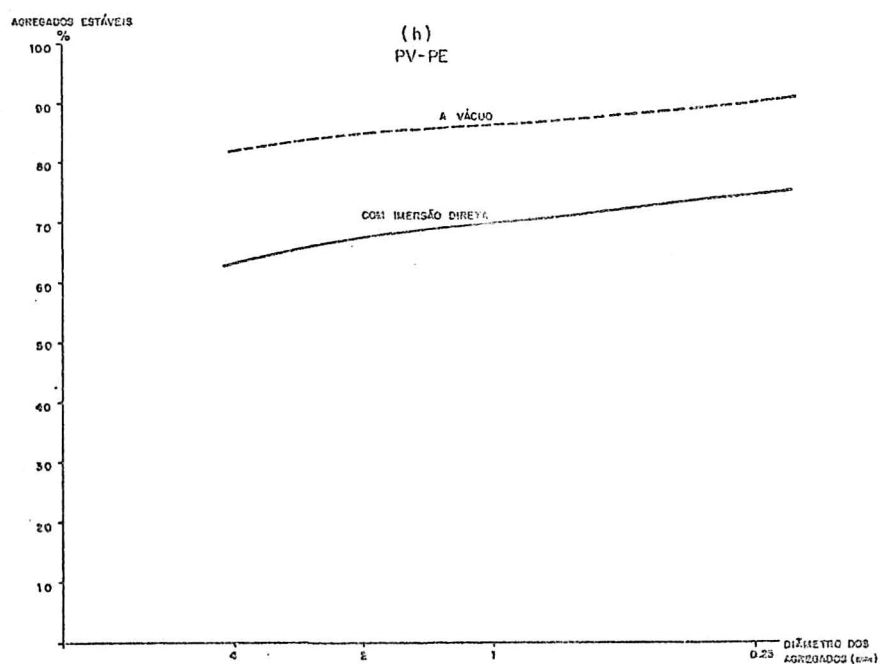


GRÁFICO A1-CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA.

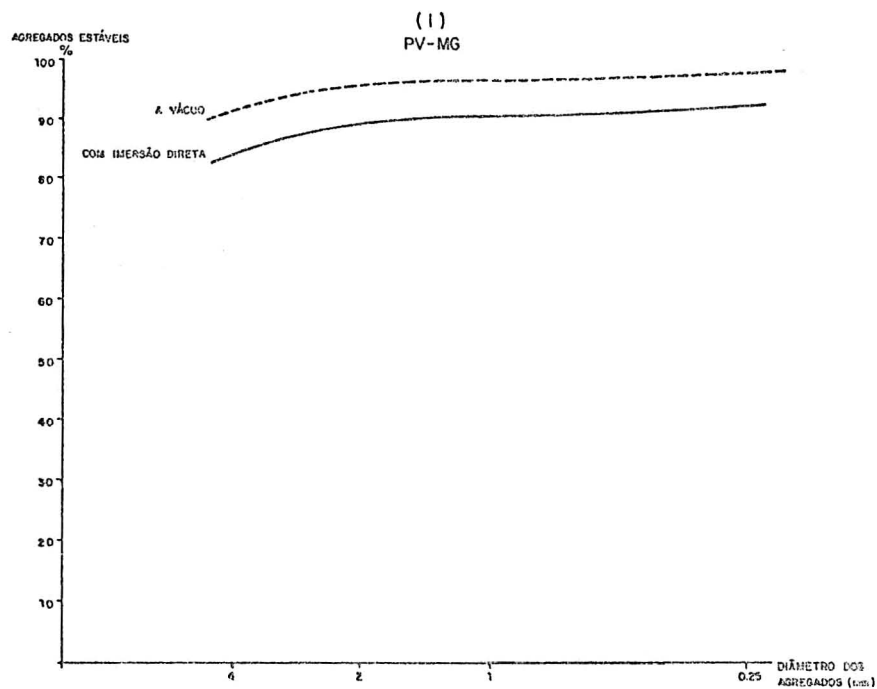


GRÁFICO A1-CURVAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA DOS AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA.

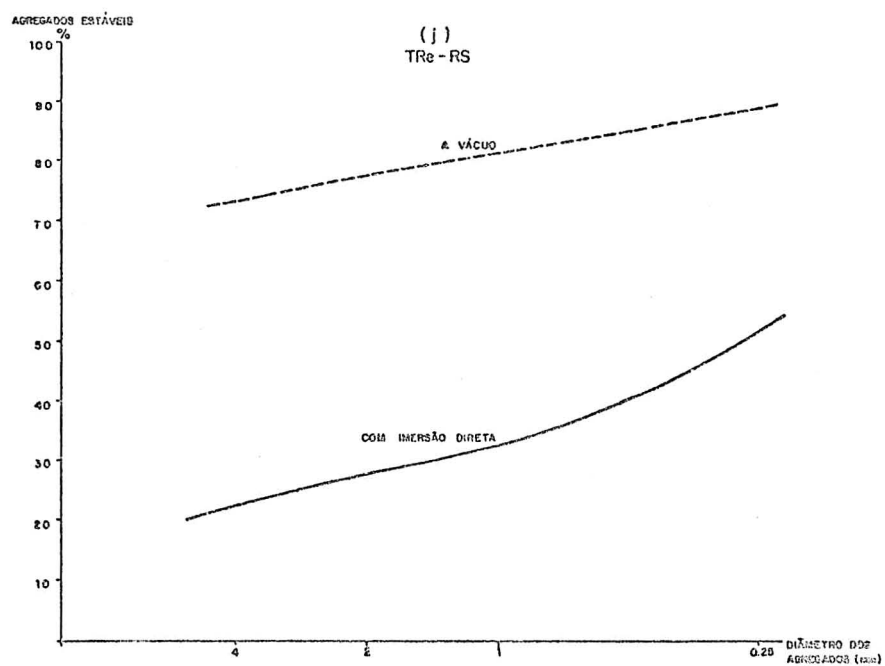


GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA.

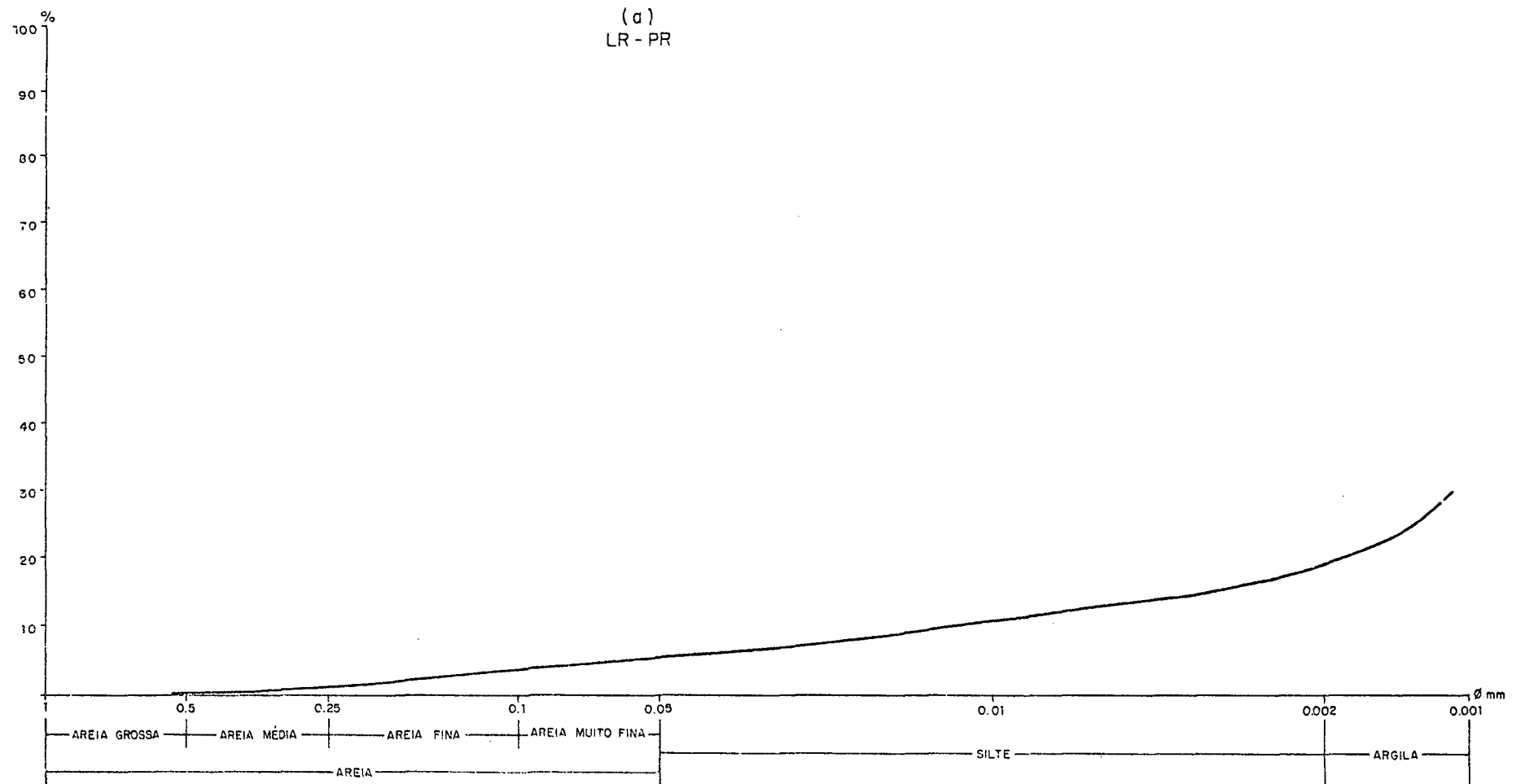


GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA.

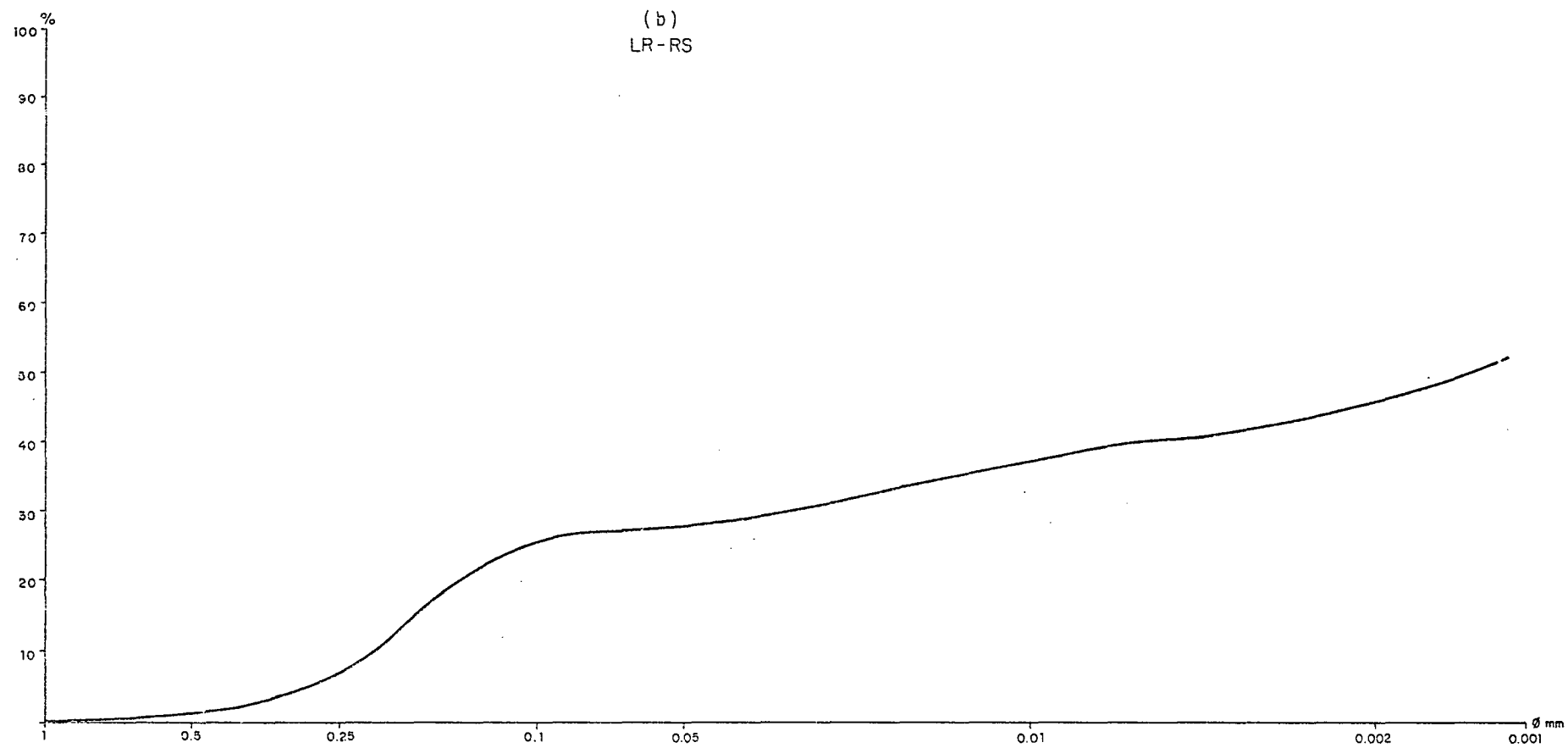




GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA.

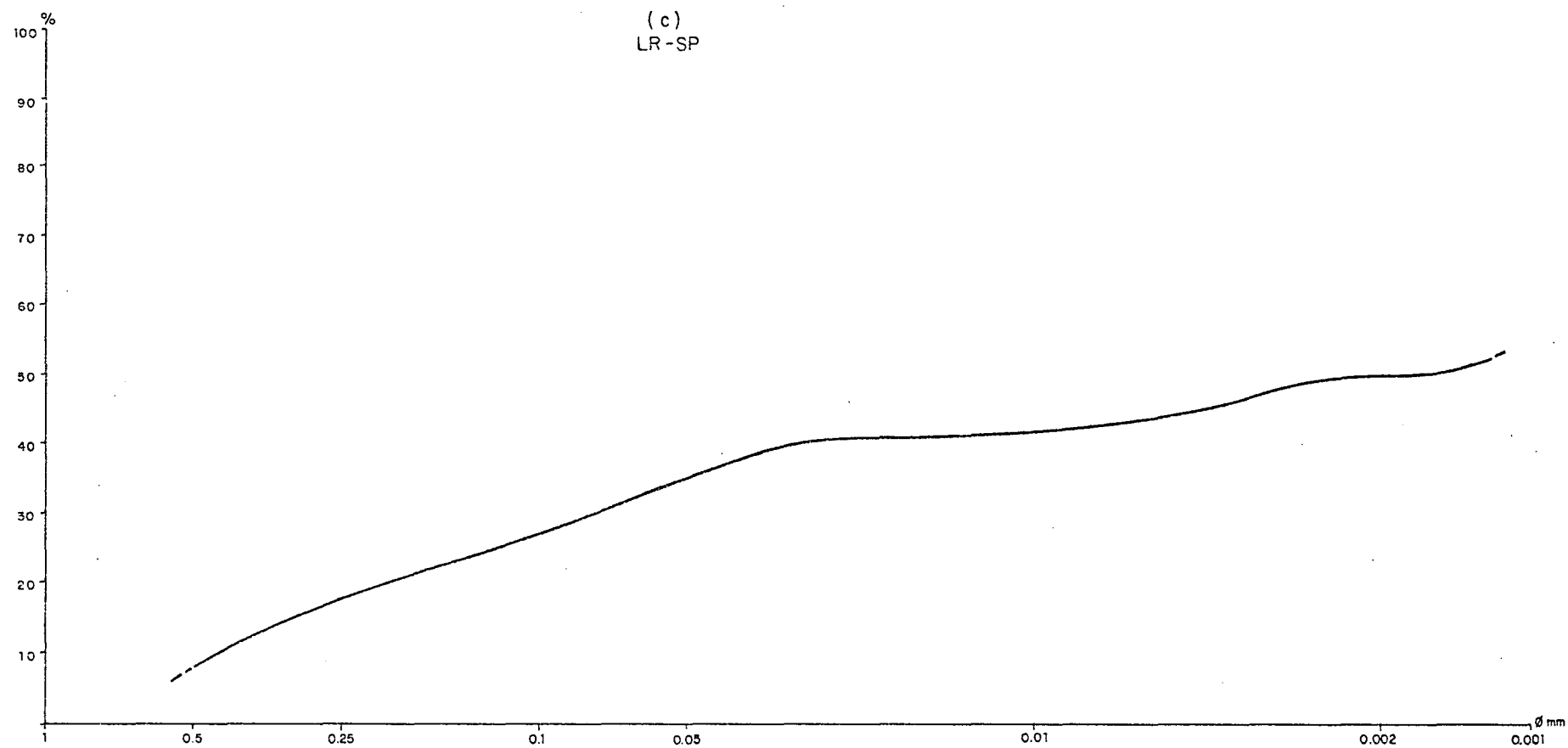


GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA.

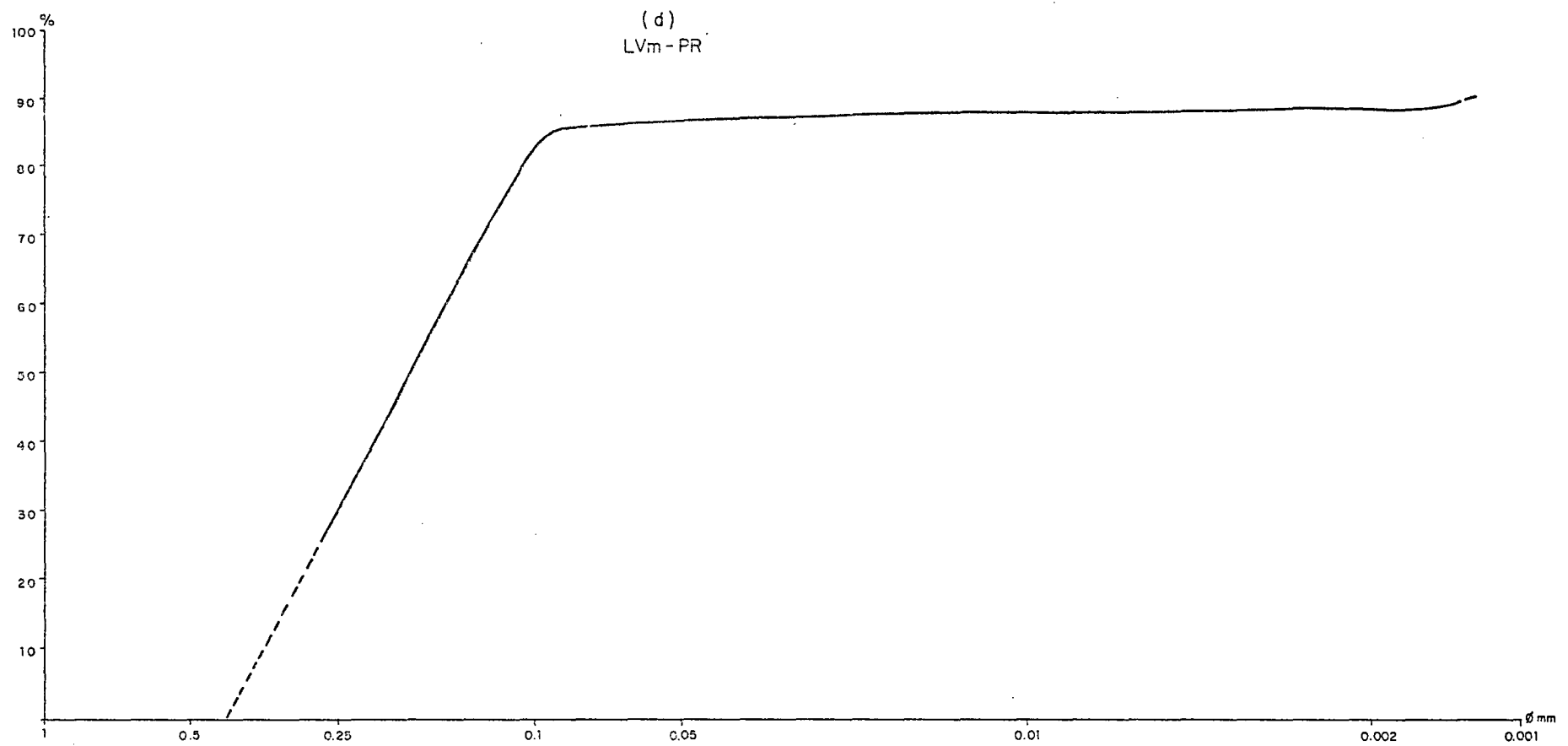


GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA .

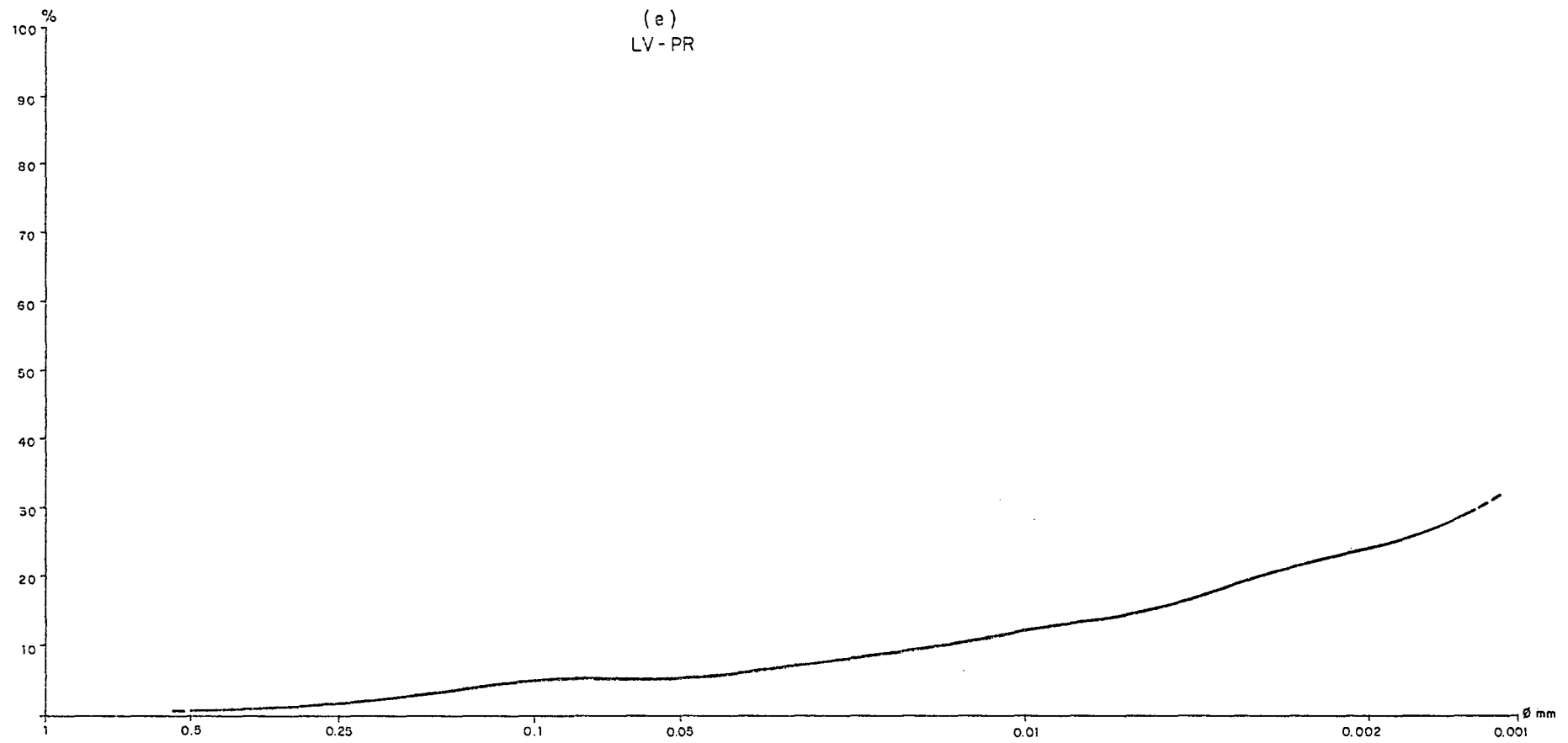


GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA.

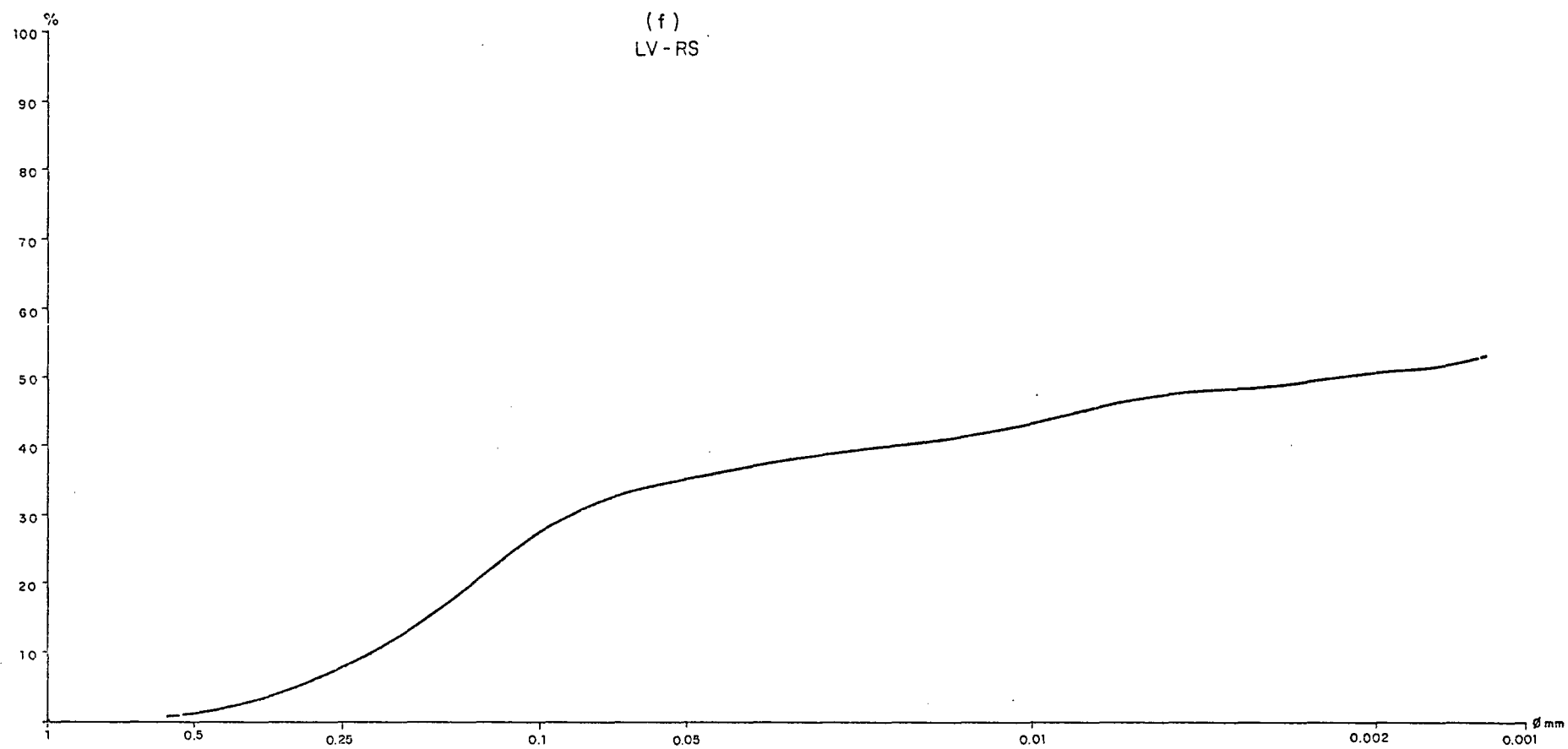


GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA.

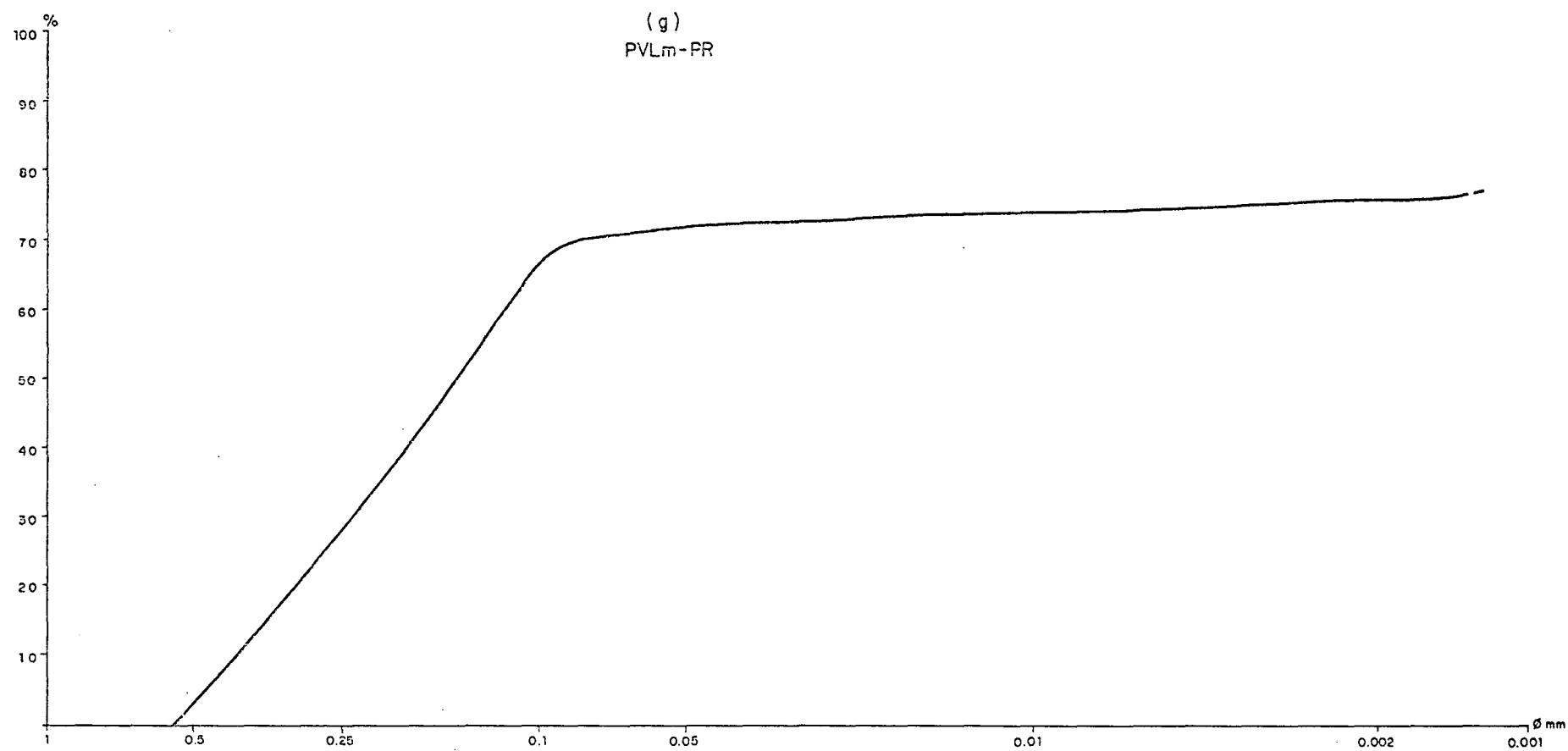


GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA .

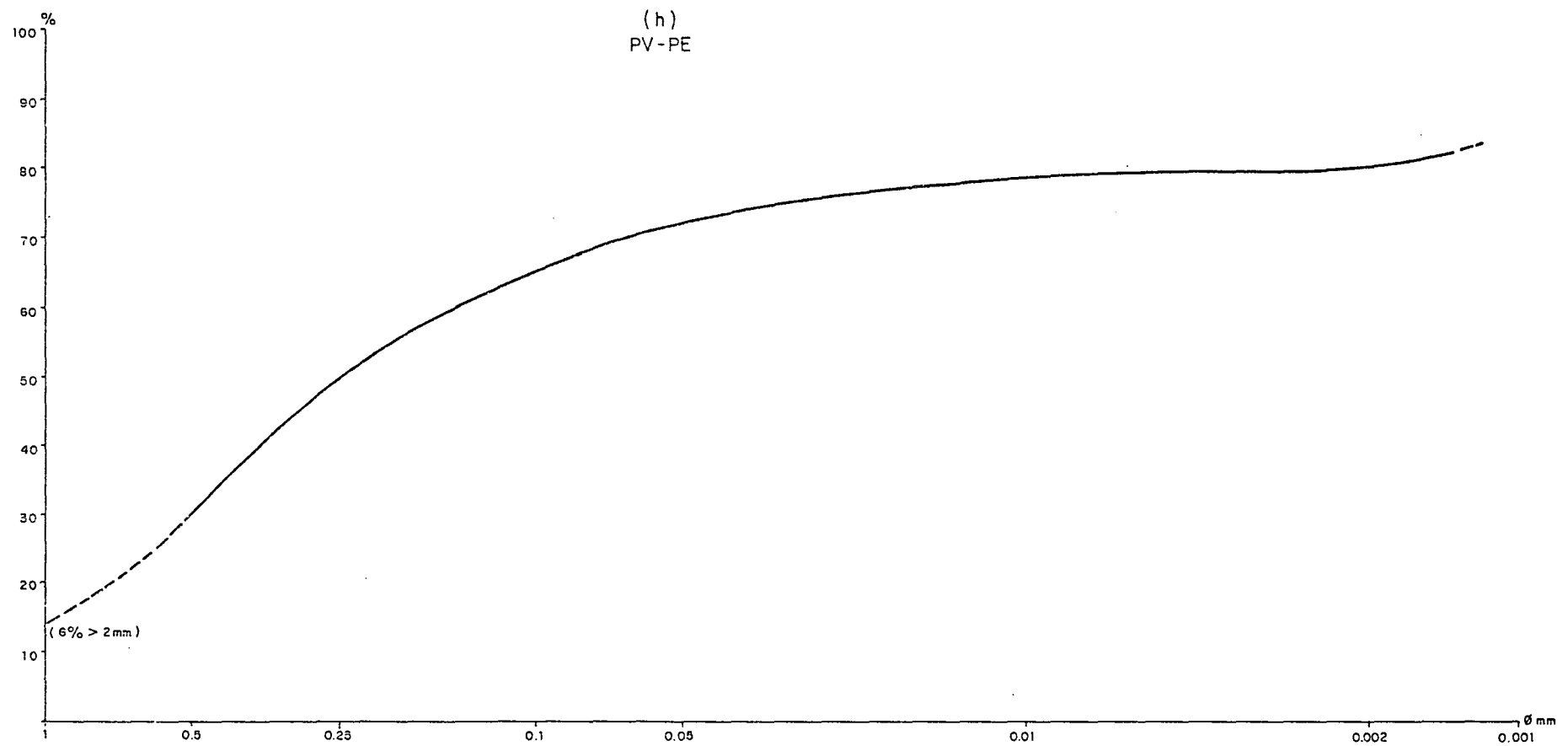


GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA.

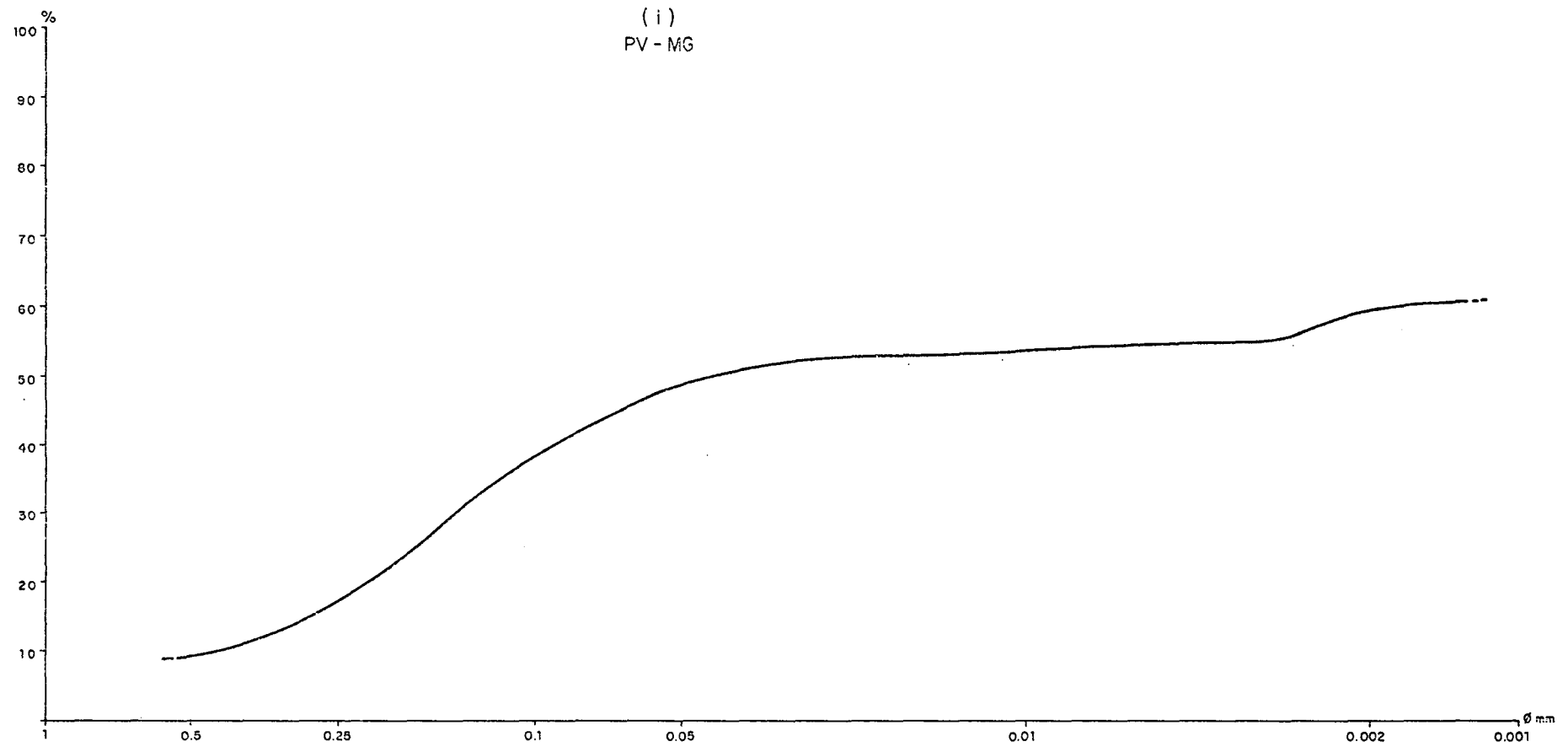


GRÁFICO A2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA .

